



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTA' DI INGEGNERIA
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA
TESI DI LAUREA
**MIGLIORAMENTO E SEMPLIFICAZIONE DEL
PROCESSO PRODUTTIVO ELETTRONICO CAREL**

Relatore: *Prof.re Alessandro Paccagnella*

Correlatore: *Ing. Luigi Sacchetto*

Laureando: *Enrico Forte*

Padova, 4 ottobre 2010

Indice

INTRODUZIONE v

1: L'AZIENDA CAREL INDUSTRIES 1

1.1: Storia dell'azienda 2

1.2: Le filiali 9

1.3: I prodotti di Carel 11

1.4: Il sistema produttivo e logistico 13

2 PROCESSO PRODUTTIVO DI SCHEDE ELETTRONICHE 15

2.1 Reparto SMD 16

2.1.1 Metodo di Assemblaggio 17

2.2.1 Il Flussante 21

2.2.2 Saldatura ad onda 22

2.2.3 Bagnabilità 24

2.3 Principali difetti delle saldature 26

2.4 Burn in 30

2.5 Coating 35

2.5.1 Funzione e requisiti 36

2.5.3 Conformal Coating 42

2.6: Test 44

3 STANDARD IPC 47

3.1 Prevenzione EOS/ESD 49

3.3 Saldature 52

3.3.1 Requisiti di accettabilità delle saldature 53

3.3.4 Anomalie della saldatura, rifusione della pasta saldante 59

3.3.5 Anomalie nella saldatura, non bagnatura 60

3.3.6 Anomalie nella saldatura, dewetting 60

3.3.7 Anomalie nella saldatura, lega in eccesso, sfere di saldatura, ponti di saldatura	61
3.4 Saldatura dei fori metallizzati	64
3.5 Saldatura, risalita verticale	66
3.6 Saldatura, lato primario, reoforo ed interno foro	67
3.7 Conformal coating	68
 4 AFFIDABILITA' IN CAREL	71
4.1 Presentazione dati e guasti	73
4.2 Presentazione dati ritorni da campo	76
4.3 Analisi dei guasti	78
4.3.1 Elemento "F" ed "A"	78
4.3.2 Componente "B"	80
4.3.3 Conclusioni sull'analisi dei guasti	85
4.4 Proposte di miglioramento	85
4.4.1 Effetti teorici delle proposte di miglioramento	86
4.4.2 Verifica delle proposte di miglioramento	87
 5 VALUTAZIONE TIPI DI COATING	93
5.1 Apparato di test e campioni	94
5.2 Risultati	95
 6 CONCLUSIONI	103
6.1 Vantaggi	104
6.2 Svantaggi	105
6.3 Conclusioni	105
 BIBLIOGRAFIA	107

Introduzione e obiettivi

Il lavoro che ha portato alla compilazione di questa tesi è stato svolto, come stage, presso l'azienda CAREL Industries, di Brugine. Questa ditta, come vedremo nel dettaglio nel capitolo 1, produce umidificatori e controlli a microprocessore. Fin dal primo incontro con il mio tutor aziendale, l'Ing. Luigi Sacchetto, sono stati identificati gli obiettivi che il mio lavoro di tesi avrebbe dovuto raggiungere.

Il primo degli obiettivi è il seguente: valutare la possibilità di togliere il burn-in dal flusso di produzione e trovare una via alternativa per garantire la medesima affidabilità dei prodotti. Quindi la prima parte del mio lavoro di stage, dopo un primo periodo dove mi sono state spiegate le modalità di produzione, test, ecc, è stata incentrata sulla raccolta dati (dai normali test di controllo effettuati sui prodotti e da altri test interni) e l'analisi di questi. Finita questa parte di analisi, si sono formulate delle proposte di miglioramento, e queste sono state verificate mediante opportuni test.

Il secondo degli obiettivi mi è stato riferito dall'Ing. Sacchetto tramite una domanda: "è meglio coprire in parte una scheda con del conformal coating o è meglio coprirla tutta con del semplice coating?". L'obiettivo non è quello di verificare e certificare quale dei due coating è più performante, perché ci sono degli organi apposti che fanno questo, ma quello di trovare un modo rapido ed economico per effettuare un primo test che possa fornire delle prime risposte alla domanda.

Il presente lavoro di tesi è stato suddiviso in 6 capitoli, nel primo si descrive l'azienda, elencando i suoi prodotti, le sue sedi, ecc. Il secondo capitolo descrive i passi fondamentali nella realizzazione di schede elettroniche, mentre il terzo da una pa-

normativa degli standard IPC. Tali standard presentano lo stato dell'arte nella realizzazione di schede elettroniche.

I capitoli 4 e 5 descrivono il lavoro vero e proprio effettuato in azienda, riportando nel limite del consentito (segreto industriale) quanto trovato. Le conclusioni sono state scritte nel capitolo 6, assieme a delle considerazioni finali sui risultati ottenuti in questo lavoro di tesi.

CAPITOLO 1

L'AZIENDA CAREL INDUSTRIES

Sommario

1.1: Storia dell'azienda.....	2
1.2: Le filiali	9
1.3: I prodotti di CAREL	11
1.4: Il sistema produttivo e logistico	13

Introduzione

Il presente capitolo darà una breve descrizione dell'azienda CAREL, soffermandosi sull'evoluzione che ha subito dalla sua fondazione ad oggi, i suoi mercati, le sue filiali ed il suo sistema produttivo.

1.1: Storia dell'azienda

CAREL Industries srl (da qui in avanti CAREL, per semplicità) è un'importante realtà internazionale nella produzione di sistemi di umidificazione e di controlli a microprocessore per il condizionamento dell'aria e la refrigerazione. Fondata nel 1973 in provincia di Padova, l'azienda ha iniziato occupandosi principalmente nella progettazione e produzione di quadri elettrici per conto terzi. Proprio da questa sua prima attività l'azienda prese il nome di CAREL, che stava per: Costruzione ARmadi ELettrici.

Dopo due anni dalla nascita, CAREL decide di ampliare la propria produzione, introducendo una sezione dedicata all'umidificazione. Gli umidificatori progettati e prodotti da CAREL trovavano impiego nei centri di calcolo dove i computer erano alloggiati, ambienti che richiedevano un clima scrupolosamente controllato.

Il punto di svolta avviene all'inizio degli anni ottanta, quando CAREL avvia, per prima in Europa, la progettazione e la produzione di un controllo a microprocessore per condizionatori di precisione, sempre destinati ai centri di calcolo. Nel frattempo intorno a CAREL inizia a svilupparsi quello che diventerà il "distretto del freddo", uno dei maggiori al mondo. Nel territorio circostante le numerose aziende che operano nel settore delle macchine frigorifere, contribuiscono allo sviluppo dell'Azienda, che trova fra loro fornitori e, soprattutto, clienti.

L'esperienza acquisita permette all'azienda di iniziare, per prima in Italia, la progettazione e produzione di controlli a microprocessore dal prezzo competitivo, ovvero di controlli per la refrigerazione che si proponevano come alternativa alla regolazione elettromeccanica di banchi, vetrine e celle frigorifere. Nonostante ciò, è solo nei primi anni novanta che CAREL inizia

a sfruttare appieno il suo vantaggio tecnologico, che la lancia nel mercato mondiale.

L'obiettivo di diventare leader nella fornitura di controlli a microprocessore per impianti di refrigerazione e condizionamento induce CAREL, nel 1992 a ramificarsi in un gruppo, con una serie di filiali in tutto il mondo. Il risultato è la forte crescita dell'azienda: i dipendenti passano da 100 nel '92 a 150 nel '96, agli oltre 500 del 2004. Il fatturato s'impenna dai 10 milioni di Euro nel '93 ai 35 nel '98, ai 55 milioni di Euro nel 2000 fino ad arrivare ai 111 milioni di Euro nel 2008. Oggi il quartiere generale si trova a Brugine, nella provincia di Padova. Gli altri due stabilimenti produttivi si trovano a Mannheim, in Pennsylvania(USA), e a Suzhou(PRC), a 100 Km da Shanghai.

Il gruppo si avvale, inoltre, di 13 filiali, cinque in Europa (Francia, Gran Bretagna, Germania, Russia e Spagna) e sei nel resto del mondo (Hong Kong, Australia, Corea del Sud, India, Sud Africa, Brasile Cina e Stati Uniti), distributori e agenti in oltre settanta paesi e una serie di aziende affiliate che lavorano in sinergia con la casa madre, dalla quale ricevono indicazioni operative e condividono informazioni.

CAREL offre un'ampia gamma di soluzioni per costruttori, installatori e progettisti del settore HVAC/R (Heating Ventilation Air-Conditioning Refrigeration): controllori elettronici standard e programmabili, sistemi di monitoraggio, supervisione e teleassistenza per la gestione di impianti nonché umidificatori adiabatici e isotermici. La produzione di controlli elettronici di CAREL è nel rispetto della direttiva RoHS (apparecchiature senza uso di piombo, cadmio e altre sostanze pericolose).

I clienti diretti del Gruppo sono principalmente OEM (Original Equipment Manufacturer, Costruttori), i grossisti, e in

quantità minore anche installatori. Tra i clienti finale di CAREL troviamo invece grandi e medie aziende, ospedali, banche, supermercati, produttori di computer e telefonia, ecc.

L'avanguardia tecnologica e la ricerca di un continuo miglioramento tecnico è ciò che rende CAREL leader nel suo settore. Un fattore fondamentale che ha contribuito alla forte crescita aziendale è proprio la continua attività di ricerca e sviluppo costantemente rivolta all'innovazione e all'avanzamento tecnologico.

La ricerca, è da sempre, uno dei punti fermi della filosofia CAREL, gli investimenti per essa risultano essere superiori alla media anche in termini di risorse umane: oltre il 18% dello staff è coinvolto in attività di ricerca e sviluppo per la creazione di nuovi prodotti. La supremazia di CAREL non è dovuta solamente alla continua innovazione tecnologica: infatti, CAREL riconosce da sempre l'importanza del fattore umano, e quindi cura con molta attenzione sia le relazioni con i clienti e fornitori, sia i propri dipendenti, perché l'azienda riconosce come principale fattore di successo il contributo professionale delle persone che vi operano, in un clima di lealtà e fiducia reciproca.

Il rispetto e l'attenzione per l'ambiente sono un altro punto di forza del gruppo, che cerca costantemente nuove formule ed idee per impiegare materiali a basso impatto ambientale, e soluzioni per ridurre i consumi sia dei propri prodotti sia dei prodotti altrui quando utilizzano i controlli CAREL.

Rivediamo ora, anno per anno, le tappe fondamentali della crescita di CAREL:

- 1973: CAREL nasce nella provincia di Padova
- 1975: CAREL inizia a produrre umidificatori a vapore
- 1981: Nasce il primo controllo a microprocessore per condizionatori destinati ai centri di calcolo
- 1984: CAREL realizza il primo sistema di monitoraggio per unità di condizionamento
- 1985: vengono progettati e prodotti dei controllori programmabili per il condizionamento
- 1987: viene introdotta la tecnologia SMD, Surface Mounting Device, e il test in-circuit nei processi di produzione
- 1988: progettazione e produzione di controlli per la refrigerazione
- 1989: nasce una nuova scheda programmabile completa di tools di programmazione proprietario CAREL
- 1991: CAREL introduce la comunicazione seriale su tutta la gamma di controlli
- 1992: nasce a Lione la prima filiale estera, CAREL France
- 1994: CAREL ottiene la certificazione ISO 9001
- 1996: Nasce la filiale tedesca CAREL Deutschland
- 1998: nascono le filiali CAREL UK e CAREL Sud America

- 2000: nasce CAREL Asia
- 2001: Nascono CAREL Australia e CAREL USA
- 2002: CAREL aggiorna il sistema qualità alla nuova norma ISO 9001:2000
- 2004: nasce il centro sperimentale di termodinamica CAREL, che si occupa tra l'altro della sperimentazione delle tecniche di regolazione delle macchine frigorifere, con particolare attenzione alle nuove tecnologie
- 2005: CAREL inizia la produzione nella nuova fabbrica di Suzhou. La nuova unità produttiva realizza soluzioni elettroniche per il settore del condizionamento e della refrigerazione con gli stessi standard di qualità della casa madre, ed è stata voluta per rispondere alle crescenti richieste del mercato cinese
- 2006: CAREL è nominata “azienda eccellente” fra le prime cento in Italia (rapporto “Nostra eccellenza” di Eurispes)
- 2007: Nasce CAREL Ibérica. L'azienda dà avvio ad un progetto di trasformazione secondo la filosofia “Lean”.
- 2008: CAREL si aggiudica il premio Mediobanca 2008 assegnato alle imprese più dinamiche, che si distinguono per elevati tassi di crescita e buona redditività. CAREL è stata giudicata non solo secondo parametri che hanno preso in esame i tassi di sviluppo del fatturato, ma anche per l'assetto di *governance*, l'organizzazione interna, l'orientamento all'innovazione di processo e di prodotto e la conquista di quote di mercati nazionali ed estere

- 2009: Riorganizzazione societaria del Gruppo CAREL con destinazione delle funzioni operative, industriali e commerciali ad una nuova società: CAREL INDUSTRIES S.r.l., controllata da CAREL S.p.A.

Nuova sede CAREL in Russia. CAREL si aggiudica il Premio Marco Polo 2009 istituito dall'Unioncamere del Veneto, come azienda che si è distinta per l'impegno e gli importanti risultati nel settore del commercio estero nel 2008. Nell'ambito dei China Awards 2009 a CAREL viene assegnato il premio "Creatori di Valore" (settore elettronica), come azienda che ha realizzato le migliori performance con la Cina nel 2008. Nuova filiale in Corea del Sud.

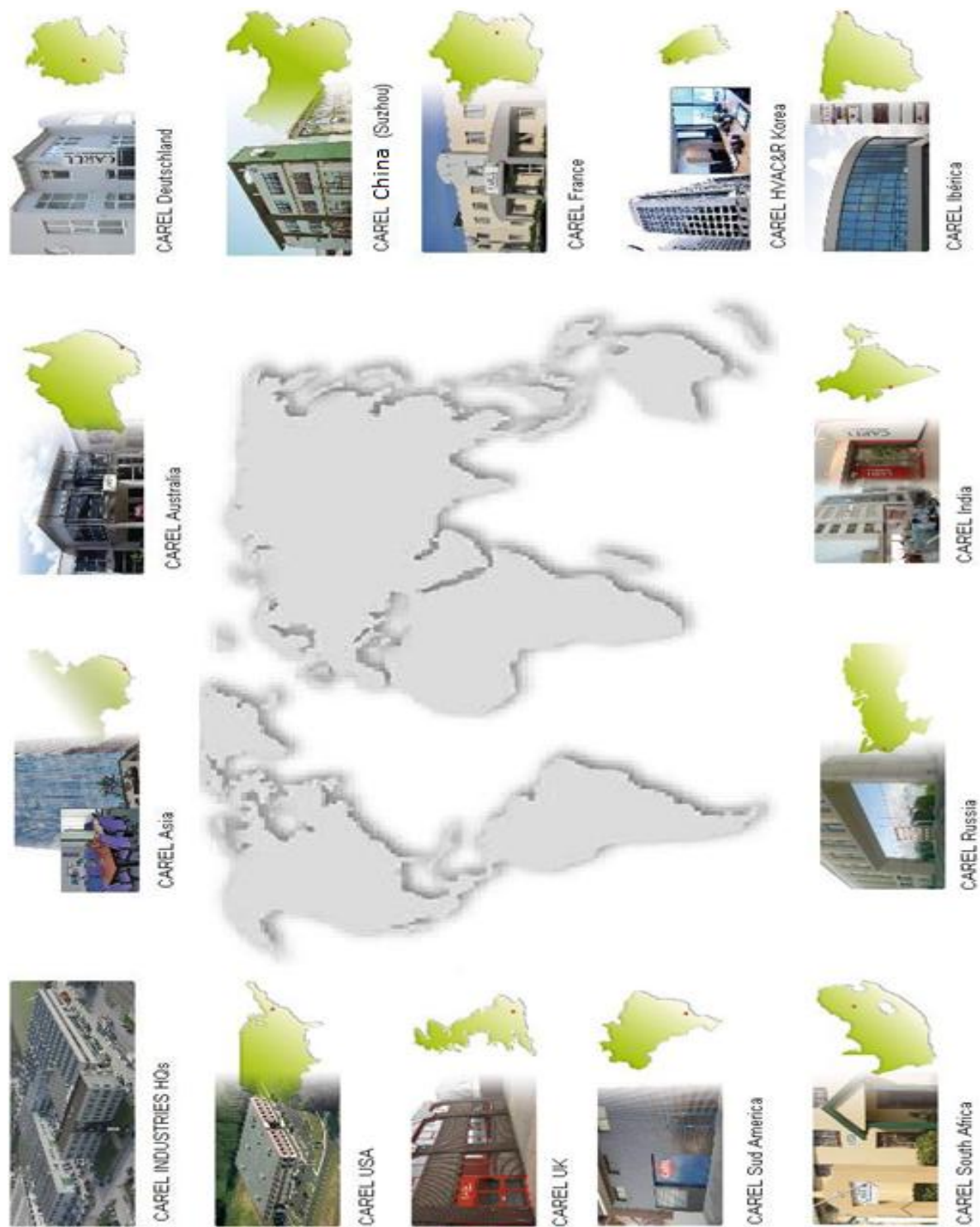


Figura 1.1: il "Mondo" CAREL

1.2: Le filiali

Fin dai primi anni Novanta, CAREL assicura una presenza diretta all'estero attraverso le proprie filiali commerciali:

- **CAREL France:** prima filiale estera costituita a Lione nel 1992, si occupa dei mercati francese, belga e lussemburghese.
- **CAREL Deutschland:** filiale tedesca nata nel 1996, segue il mercato tedesco, austriaco e svizzero .
- **CAREL Sud America:** nata nel 1998, si occupa del mercato brasiliano.
- **CAREL UK:** anch'essa nata nel 1998, segue il mercato inglese e irlandese.
- **CAREL Asia:** nasce nel 2000, ha sede a Hong Kong e copre il mercato del Far East (eccetto la Cina seguita da CAREL China).
- **CAREL Australia:** nata nel 2001, è la filiale che coordina le attività nel mercato australiano e neozelandese.
- **CAREL USA:** nata sempre nel 2001, si occupa del mercato del Nord America e del Messico ed è anche sede produttiva.
- **CAREL China** (CAREL Electronic Suzhou): nasce a fine 2005 ed è una sede produttiva situata a Suzhou (regione dello Jiangsu, a circa 100 km da Shanghai). Opera anche come sede commerciale per seguire il mercato della Cina (PRC).

- **CAREL Ibérica:** nata del 2007 per coprire il mercato spagnolo e portoghese, ha la sede principale a Barcellona e una sede distaccata a Madrid.
- **CAREL India:** costituita nel 2008 per coprire il mercato indiano, ha sede a Mumbai.
- **CAREL South Africa:** costituita nel 2008 per coprire il mercato sudafricano, ha sede presso Johannesburg.
- **CAREL Russia:** nel 2009 viene aperto un Ufficio di Rappresentanza in Russia, base per la costituzione di una nuova filiale del Gruppo. Dedicato alla promozione e al supporto delle attività CAREL nella Federazione Russa, con particolare focus sulla Refrigerazione, ha sede principale a San Pietroburgo.
- **CAREL HVAC&R Korea:** costituita nel 2009 per coprire il mercato HVAC/R sud-coreano, ha sede a Seoul ed è gestita da CAREL Asia.

Le filiali del gruppo CAREL operano direttamente, per l'area geografica di loro competenza, rispondendo funzionalmente e gerarchicamente all'headquarters. Inoltre, CAREL ha creato due filiali "virtuali", intese come facenti parte dell'entità giuridica CAREL Industries S.r.l., individuate come CAREL Italia e CAREL Export. La "filiale" Export opera in tutti quei Paesi non seguiti direttamente dalle filiali. Oltre a ciò, sono in essere rapporti commerciali privilegiati (tipo franchising) con le cinque società "affiliate". A tutt'ora sono: CAREL Thailand, CAREL Korea (solo per il mercato Retail), CAREL Turkey, CAREL Ireland e CAREL Spol (quest'ultima copre il mercato ceco e slovacco). Le affiliate vengono coordinate, a seconda dell'area geografica di appartenenza, da una filiale.

Le filiali commerciali fanno anche attività di supporto al cliente e di personalizzazione software per le applicazioni del settore HVAC/R, su richiesta dello stesso cliente; rispetto ai concorrenti, la strategia è quella di presidiare e supportare i mercati mediante una rete di vendita il più possibile diretta a livello globale. Completano, infatti, la rete commerciale CAREL, le decine di agenti e distributori sparsi in tutto il mondo, che fanno capo alle filiali di competenza.

1.3: I prodotti di CAREL

La gamma di prodotti offerti dall'azienda è molto vasta e va dai controlli elettronici di sistemi di supervisione, alle valvole di espansione, umidificatori, e altri accessori come regolatori di velocità e dispositivi di protezione. Di seguito si riporta il dettaglio di tutti i prodotti realizzati da CAREL suddivisi per categoria.

- **Controlli Programmabili:** pCO sistema, 1Tool system, soluzioni software per il condizionamento, soluzioni software per refrigerazione.
- **Controlli parametrici per il condizionamento:** controlli standard per le più comuni applicazioni del settore.
- **Controlli Parametrici per la refrigerazione:** serie easy, serie ir33, serie plug-in, serie PJ, serie Mastercella, soluzioni per il retrofit di impianti.
- **Umidificatori isotermici:** umidificatori ad elettrodi immersi, umidificatori a resistenze elettriche, umidificatori a vapore alimentati a gas, distributori di vapore rete.

- **Umidificatori adiabatici:** umidificatore adiabatico per CTA/condotta e ambiente, Atomizzatori ad aria compressa e acqua, umidificatori centrifughi, umidificatori ad ultrasuoni.
- **Controlli universali:** serie infrared universale.
- **Sensori:** sonde di temperatura umidità, trasduttori di pressione, sonde di qualità dell'aria, altri dispositivi.
- **Telegestione e comunicazione:** Interfacciamento BMS (Building management System), sistemi di tele gestione e monitoraggio e supervisione.
- **EEV Technology:** Valvole di espansione elettronica, Driver per valvole di espansione.
- **Regolatori di velocità e dispositivi di protezione:** regolatori di velocità ad inverter, regolatori di velocità a taglio di fase, dispositivi di protezione.

In linea di massima possiamo dividere i prodotti CAREL in due categorie: hardware(elettronico e meccanico) e software.

1.4: Il sistema produttivo e logistico

Dal punto di vista della modalità di risposta alla domanda, CAREL sta abbandonando la strada della “produzione in previsione”, per passare alla modalità “produco quello che serve e quando serve”. Questo cambio di modalità di produzione prevede l’uso di linee di produzione piccole e molto versatili, che sono in grado quindi di produrre vari tipi di prodotti in base alla domanda dei clienti.

Nel 1999 gli impianti produttivi sono stati modificati consistentemente, passando da una struttura per reparti ad una struttura a “celle ad U”. con il vantaggio di ridurre notevolmente i tempi di attraversamento e la difettosità dei prodotti. Questa disposizione consiste nel sistemare i macchinari di produzione in modo da creare fisicamente delle aree produttive semichiusate simili alla lettera U. Idealmente ogni area dovrebbe possedere tutti i macchinari che le servono (test, pc, saldatrici, ecc), in modo da essere autonoma rispetto alle altre linee. Dal punto di vista pratico, ci sono celle ad U con tutti i macchinari e celle ad U che condividono i macchinari con altre celle, specie le saldatrici ad onda. Fra i principali benefici di questa disposizione, possiamo annoverare la vicinanza degli operatori fra loro, che quindi possono aiutarsi a vicenda, e la possibilità di non bloccare la produzione in caso di guasti ai macchinari, visto la presenza di più celle autonome. Inoltre linee più piccole, comportano meno sprechi e maggior produttività.

La produzione CAREL si divide in elettronica e umidificazione. Nel caso della produzione elettronica, è necessario classificare le materie prime in :

- Componenti SMD (surface mountig device), che vengono assemblati solo automaticamente

- Componenti PTH (pin through hole), cioè componenti elettronici e non, di dimensioni tali da poter essere assemblati manualmente.

Queste due classi di componenti costituiscono l'input per le lavorazioni che avvengono nelle celle ad U dedicate alla produzione elettronica. Ogni linea deve essere il più flessibile possibile, cioè ci si sforza di configurare ciascuna cella in modo da renderla adatta a produrre tutti, o quasi, gli articoli appartenenti alla stessa famiglia. Questa scelta permette di svincolare il prodotto dalla linea di produzione, garantendo così la produzione di ciascun codice anche in caso di guasto.

Ciascuna scheda prodotta viene testata al 100%, inoltre quelle di dimensioni maggiori vengono sottoposte ad invecchiamento, burn-in. Esso consiste in una camera riscaldata a 70°C all'interno della quale vengono inserite ed alimentate le schede elettroniche per circa 40 ore. Al termine di questa fase, i prodotti che si sono guastati vengono sostituiti. Lo scopo di questo test è quello di evidenziare i componenti deboli ed impedire di vendere al cliente un prodotto che si potrebbe guastare nei primi mesi di funzionamento.

I componenti elettronici dopo aver subito tutti i controlli vengono assemblati ed imballati pronti per essere spediti al cliente.

Oltre al ciclo produttivo dei controlli elettronici vi è quello dedicato alla produzione di umidificatori. Il reparto umidificazione, si occupa solo di assemblare i componenti acquistati da fornitori esterni. L'assemblaggio di questi prodotti avviene manualmente e solo alla presenza di ordini da parte dei clienti.

CAPITOLO 2

PROCESSO PRODUTTIVO DI SCHEDE ELETTRONICHE

Sommario

2.1 Reparto SMD.....	16
2.1.1 Metodo di Assemblaggio	17
2.2 Reparto PTH.....	21
2.2.1 Il Flussante	21
2.2.2 Saldatura ad onda.....	22
2.2.3 Bagnabilità	24
2.3 Principali difetti delle saldature	26
2.4 Burn-in.....	30
2.5 Coating.....	35
2.5.1 Funzione e requisiti.....	36
2.5.2 Metodi di applicazione	39
2.5.3 Conformal Coating	42
2.6: Test	44

Introduzione

In questo capitolo si cercherà di descrivere dettagliatamente le varie fasi necessarie a realizzare un prodotto elettronico.

2.1 Reparto SMD

In questa fase di lavorazione, sulle schede elettroniche vengono montati i componenti a montaggio superficiale, SMT. Questo lavoro viene generalmente effettuato in modo automatico, mediante degli appositi macchinari.

La tecnologia a montaggio superficiale (SMT, Surface Mounting Technology) è un metodo per costruire, assemblare, circuiti elettronici nei quali i componenti (SMC, Surface Mounted Components) sono montati direttamente sulla superficie del circuito stampato (PCB). I dispositivi elettronici così costruiti sono chiamati Surface Mounting Device, o più brevemente SMD. Questa tipologia di assemblaggio ha rimpiazzato fin dove i limiti lo consentivano la tecnologia PTH, acronimo di Pin Through Hole. I componenti SMT sono solitamente molto più piccoli della controparte PTH, visto che non presentano piedini “lunghi” e spessi, dato che non vengono maneggiati manualmente. Fra i vari vantaggi citiamo: maggiore automazione industriale, minore uso di area sulla scheda, minor uso di lega saldante e miglior resistenza ai disturbi EMC. Tipicamente questi componenti hanno dei piccoli pin, di varie forme e dimensioni (contatti piatti, BGA(ball grid array), piccoli reofori, ecc)) in base al tipo di componente.

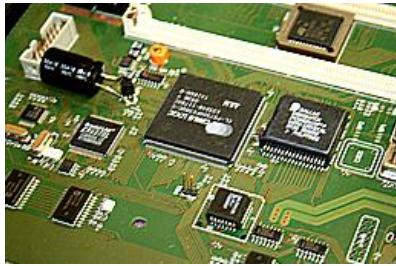


Figura 2.1: circuito SMD

Questa tecnologia di assemblaggio è stata sviluppata negli anni '60, e divenne largamente usata negli anni '80. Fra i pionieri di questa tecnologia va ricordato il colosso americano IBM, che dopo i primi approcci su bassa scala nei personal computer, usò questa tecnologia per costruire i moduli elettronici di lancio dei veicoli spaziali Saturno IV e Saturno V. Ovviamente l'introduzione di questa tecnologia comportò anche la modifica dei componenti dal punto di vista meccanico, in quanto bisognava riprogettare il contenitore del componente per adattarlo alla modalità di assemblaggio. I componenti diventarono molto più piccoli, consentendo un miglior utilizzo dello spazio nella PCB e quindi di realizzare schede più piccole, visto l'aumento della densità di componenti. Tipicamente sono le saldature a tenere "incollato" il componente alla PCB, ma in alcuni casi si usano degli adesivi per migliorare la stabilità meccanica dei componenti.

2.1.1 Metodo di Assemblaggio

La zona di PCB dove i componenti vengono posizionati è tipicamente piatta, e vi sono delle piazzole di metallo (rame, alluminio), senza buchi, chiamate solder pads. Prima dei componenti, sulle solder pads viene applicata la pasta saldante, un composto di lega saldante e flussante, mediante un apposito stampo o mediante un apposito processo di stampa. Successivamente, mediante un macchinario chiamato pick-and-place,

vengono posizionati i componenti SMD sulle proprie piazzole. Solitamente i componenti, prima di essere assemblati, sono raccolti in bobine, e vi è presente una bobina per componente. Le bobine sono di plastica e attorno ad essa vi sono avvolti i componenti, come visibile in figura 2.2.



Figura 2.2: bobina di componenti SMD

Oltre alle bobine i componenti SMD possono essere acquistati anche in appositi contenitori antistatici sotto vuoto. Il macchinario pick-and-place preleva dalle bobine o dal supporto utilizzato i componenti e provvede a depositarli sulla PCB. Ovviamente occorre fornire al macchinario le istruzioni su dove depositare i componenti.

Successivamente al posizionamento le schede vengono inserite nel forno di rifusione, dove transitano nella prima zona, detta pre-heat-zone, dove la temperatura della scheda e dei componenti viene aumentata in modo graduale ed uniforme. Si entra quindi nella zona dove la temperatura è sufficientemente alta da fondere la pasta saldante e permettere ad essa di aderire.

re completamente alle piazzole della PCB e del componente. La tensione superficiale della saldatura aiuta a mantenere i componenti fermi durante questo processo, e se le geometrie della PCB sono state progettate in modo corretto, sempre la tensione superficiale allinea correttamente ogni componente. Ci sono varie tecniche per eseguire una saldatura per rifusione, ad esempio: lampade ad infrarossi (infrared reflow), hot gas convention, vapor fase reflow, anche se questo ultimo metodo non viene più usato a causa dell'introduzione delle normative lead-free. Ad oggi il metodo più usato è l'hot gas convention, dove come gas può essere usata l'aria o l'azoto. I due metodi rimasti presentano vantaggi e svantaggi, per quanto riguarda l'uso delle lampade ad infrarossi, il progettista deve posizionare i componenti in modo che siano tutti investiti dai raggi infrarossi e non vi siano zone d'ombra con componenti. Negli altri due metodi questo problema non si presenta, e quindi questa tecnica permette una progettazione più agevole del layout dei componenti. I principali vantaggi dell'uso delle lampade ad infrarosso rispetto agli altri metodi sono: non è richiesto un completo isolamento del forno, non si necessita di serbatoi per il gas con relativi compressori, controlli di temperatura più semplici e la manutenzione è molto più agevole. Ovviamente in presenza di componenti irregolari o sensibili al calore è possibile saldarli a mano, mediante normale saldatore da banco o mediante fascio preciso di raggi infrarossi.

Dopo la saldatura la scheda può essere lavata per rimuovere i residui di fluxante e lega saldante che potrebbero contribuire al formarsi di difetti. Tuttavia la maggior parte delle schede elettroniche che usano questo metodo di assemblaggio sfruttano il processo "no clean" dove i residui di fluxante sono destinati ad essere lasciati sulla scheda. Ciò permette di ridurre

il tempo di processo, il costo di pulizia e conseguentemente ridurre lo spreco.

Dopo questi processi le schede vengono otticamente ispezionate per assicurarsi che non vi siano componenti mancanti, mal posizionati o saldature difettose.



Figura 2.3: macchina pick-and-place



Figura 2.4: forno reflow



Figura 2.5: macchina per ispezione ottica ed esempio di funzionamento

2.2 Reparto PTH

Dopo esser stati assemblati i componenti SMD, ed esser stata controllata otticamente, la scheda per esser completata, dal punto di vista dell'assemblaggio dei componenti elettronici, transita attraverso il reparto PTH. In questa fase i componenti vengono inseriti negli appositi fori e poi vengono saldati. La saldatura può esser eseguita manualmente o automaticamente. In entrambi i casi per una corretta saldatura bisogna prima assicurarsi che le piazzole ed i reofori da saldare siano puliti, cioè liberi da impurità ed applicare, prima di saldare, del fluxante.

2.2.1 Il Flussante

L'uso dei fluxanti in elettronica è ormai pratica comune, infatti essi giocano un ruolo importante nei processi di saldatura garantendo affidabilità e qualità delle saldature grazie alle loro proprietà chimiche, termiche e fisiche.

Il ruolo dei fluxanti nella saldatura è quello di ridurre strati sottili di ossido sul PCB o il componente, diminuire la tensione superficiale della lega saldante, per migliorare il flusso capillare e ottimizzare la geometria del giunto. I fluxanti utilizzati nelle industrie elettroniche possono rimuovere solo strati molto sottili di ossidi. Eventuali strati di ossido più spessi devo-

no essere rimossi in altro modo. La rimozione dell'ossido superficiale da parte del flussante può essere inibita dalla presenza di film organici sulla superficie, per questo le superfici devono essere sgrassate prima di applicare il flussante. Nelle applicazioni elettroniche si utilizzano flussanti con bassa attività, per minimizzare la potenziale corrosione da parte di residui non rimossi. Il flussante favorisce anche il trasferimento di calore dalla lega saldante alla superficie. Per applicare i flussanti alla scheda esistono svariati metodi, tra cui ricordiamo l'applicazione mediante spray, per immersione, passaggio in un getto di flusso. L'utilizzo dei flussanti deve soddisfare tre condizioni di compatibilità dei materiali:

- Il potenziale danneggiamento dei dispositivi, materiali di base e superfici depositate prima dell'assemblaggio aumenta con flussanti più attivi.
- I residui del flusso con alto contenuto ionico possono causare una corrosione dopo l'assemblaggio, da cui la necessità di eliminare questi residui.
- Gli agenti e i processi utilizzati per la rimozione dei flussanti residui devono essere compatibili con i dispositivi, i substrati e le norme ambientali; esistono dei flussanti "no clean" che non necessitano di essere rimossi.

2.2.2 Saldatura ad onda

La saldatura di componenti PTH è comunemente effettuata con la tecnologia wave soldering, saldatura ad onda. Le figure 2.6 e 2.7 illustrano questo processo. L'assemblato è trasportato sopra un bagno di lega fusa da cui la lega viene spruzzata attraverso un ugello formando un'onda (wave) che viene a contatto con l'assemblato. In questo modo la superficie della lega fusa è sempre pulita. La lega saldante fusa risale nei fori

della scheda per azione capillare e forma le giunzioni. Per questo processo sono molto importanti le proprietà di densità e viscosità della lega fusa.

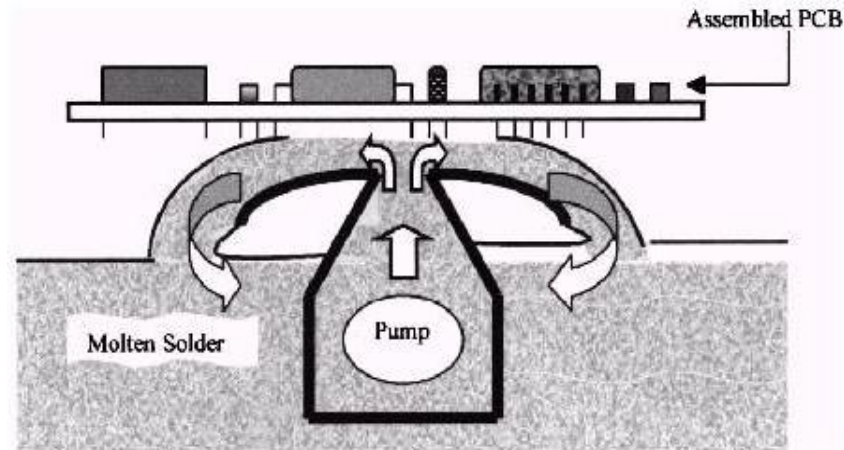


Figura 2.6: wave soldering di un circuito stampato

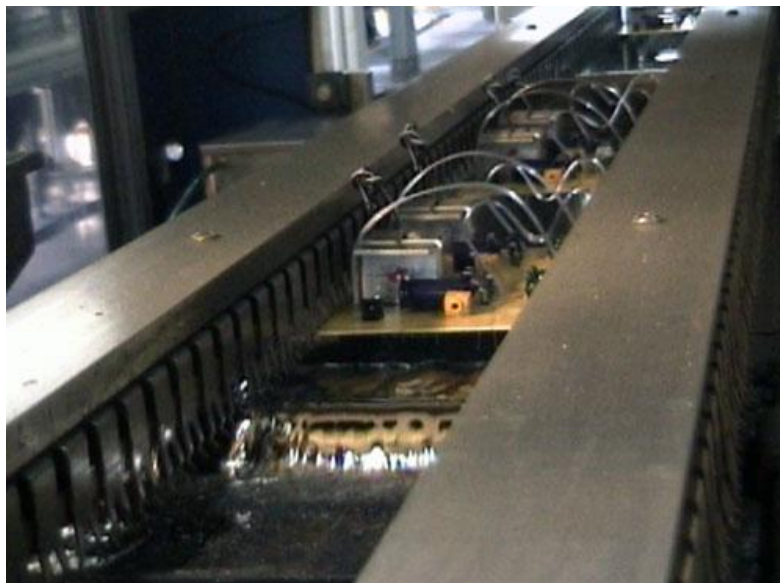


Figura 2.7: foto di saldatura ad onda

La scheda elettronica, prima di attraversare l'onda di lega saldante, viene preriscaldata, attraverso raggi infrarossi o flussi di aria calda. Questo preriscaldamento è necessario, in quanto

serve per attivare il flussante, eliminare i solventi utilizzati nel flussante ed evitare shock termici.

La saldatura ad onda, seppur molto semplice, richiede di essere monitorata molto attentamente. Fra i metodi di controllo vi è l'ispezione visiva dell'onda, misurando i suoi parametri quali altezza e lunghezza ed il controllo della fase di preriscaldamento. Infatti un'onda troppo piccola non riesce a bagnare bene tutta la superficie e quindi non le saldature risultano difettose, ed un scarso preriscaldamento comporta shock termici e fumi dovuti ai solventi del flussante.

Durante questo processo le schede elettroniche possono essere adagiate su dei carrellini, fixtures, che consentono anche alle schede più piccole di essere processate con questo metodo (altrimenti non potrebbero essere trasportate dalla catena di trasporto) e permettono di isolare dall'onda certe aree, per evitare un eccessivo riscaldamento di certi componenti sensibili.

2.2.3 Bagnabilità

La bagnabilità è un punto importante nell'interazione tra lega saldante e metallo (della piazzola e dei piedini del componente). La lega saldante presenta una tensione superficiale (γ_s) ragionevolmente elevata, in modo che una volta fusa, tende a formare delle sfere, come ad esempio succede per il mercurio.

Se una gocciolina della saldatura è disposta su di un substrato, l'equilibrio meccanico delle forze presenti prevale sulle tensioni superficiali dei materiali in gioco. Le tensioni superficiali tra lega saldante e l'aria (γ_{sv}), e tra substrato metallico e l'aria (γ_{bv}) sono sostanzialmente fisse. Così, per la lega saldante, affinché aderisca e bagni bene le superfici, la tensione

superficiale (γ_{sb}) di interfaccia tra lega saldante e base metallica deve essere ridotta. L'applicazione del flussante favorisce tutto questo; la lega saldante allora, scorre meglio sopra il substrato, lo bagna meglio, ricoprendo la superficie con angolo di contatto ottimale (θ). Una buona bagnabilità presenta angoli compresi tra 0° e 20° , mentre per angoli maggiori di 60° la bagnabilità è scarsa.

Oltre ad assicurare la bagnabilità, bisogna prevenire il problema del "dewetting", una circostanza dove θ supera i 90° . Visivamente, il "dewetting" si manifesta principalmente sulle superfici con punti irregolari che tendono ad attirare la lega saldante, rischiando di creare percorsi parassiti, difetti e aumentando l'angolo di contatto. Il problema del "dewetting" potrebbe essere dovuto allo sprigionamento di gas durante il contatto lega saldante superficie.

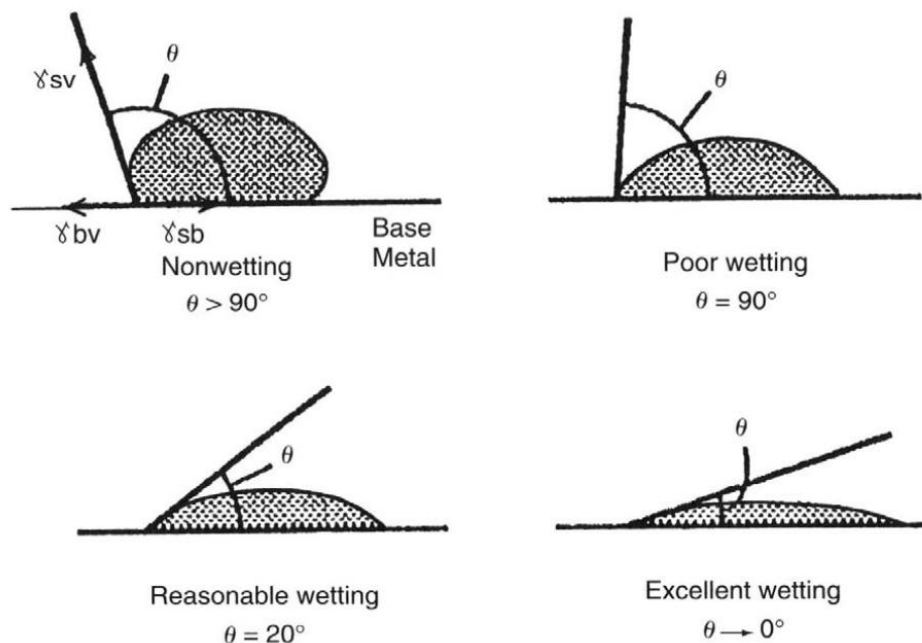


Figura 2.8: Forze interfacciali tra lega saldante e superficie

2.3 Principali difetti delle saldature

I difetti che si possono riscontrare nelle saldature possono avere varie origini, come la scarsa bagnabilità, flussanti non adatti, formazioni di ossidi ecc. Una saldatura ottimale deve avere una superficie liscia e lucida, e l'angolo tra la lega saldante ed il substrato deve essere piccolo.

Uno dei difetti più comuni è il così detto “cold joint” (giunto freddo o saldatura fredda). Questo difetto si forma quando il giunto viene disturbato durante il periodo di solidificazione o vi sono presenti delle impurità, come ad esempio ossidi. Si hanno superfici fessurate e ruvide, che solitamente garantiscono il collegamento meccanico tra le due parti ma non sempre quello elettrico, ed in alcuni casi, questo difetto può comportare la rottura della giunzione.

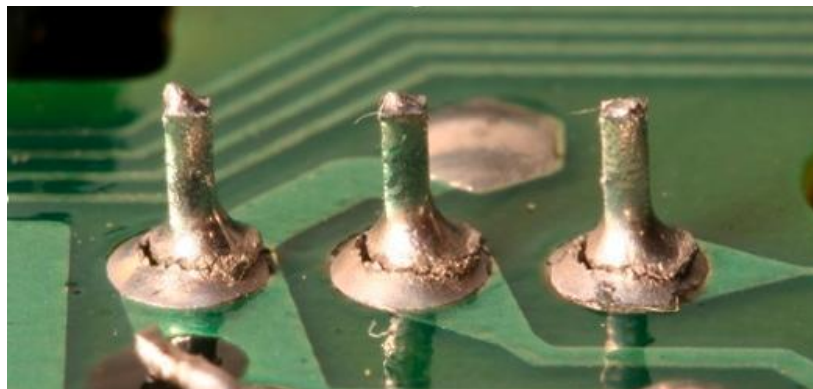


Figura 2.9: esempio di saldatura fredda

Alcuni gravi difetti possono comparire durante il processo di solidificazione. Condizioni di processo sbagliate possono causare la comparsa di segregazioni, ingrossamento della grana, formazione di grani di fase intermetallica fragile e formazione di cricche.

Le tabelle 2.1 e 2.2 descrivono i principali difetti delle saldature, mentre le figure 2.10 e 2.11 mostrano alcuni esempi di difetti.

Tabella 2.1: difetti della saldatura ad onda

Saldatura ad onda		
Descrizione	Possibili cause	Contromisure
Metallo nudo	Saldatura tagliata/rotta durante la fase di saldatura	Usare un flussante migliore
Blow hole	Fuoriuscita di gas dalla "hole" durante la solidificazione della lega saldante	Eliminare le impurità dalla PCB e controllare la qualità del flussante
Cold solder joint	Temperatura del substrato metallico troppo bassa	Aumentare la temperatura di preriscaldamento e della lega saldante
Dewetting	La lega saldante si ritira dal substrato	Controllare la contaminazione e la superficie delle piazzole
Disturbed joint	Vibrazioni meccaniche durante la solidificazione della lega saldante	Controllare il meccanismo di trasporto all'interno della saldatrice
Excess solder	angoli di bagnabilità troppo elevati, superficie da saldare non concava	Il flussante non ha aderito su tutta la superficie, controllare la PCB
Hole not filled	Non è presente il menisco sulla saldatura	Foro di conduzione dimensionato male, piazzole troppo piccole
incicles	Parti di lega saldante sulla PCB a causa di un eccessivo drenaggio di lega saldante	Aumentare la temperatura della lega, correggere l'onda di lega saldante
Insufficient solder	Eccessivo drenaggio della saldatura	Tensione superficiale della saldatura troppo bassa, ridurre la temperatura della PCB o della lega saldante
Nonwetting	Bagnabilità parziale con alto angolo di contatto	Migliorare la saldabilità della PCB e/o dei componenti

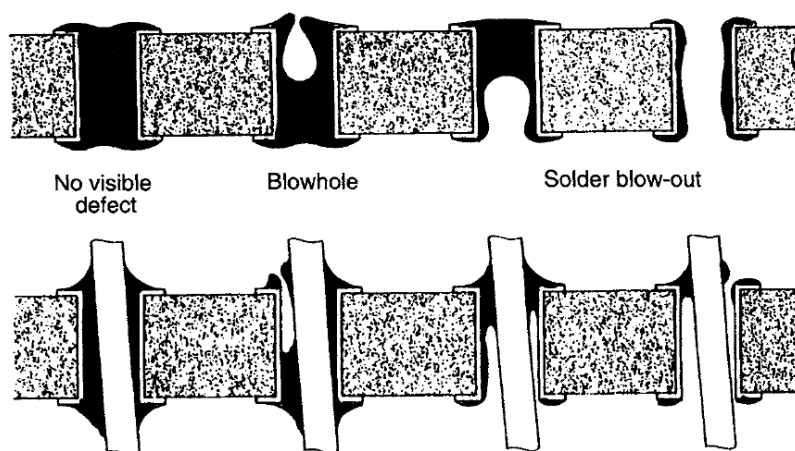


Figura 2.10: esempi di difetti di saldatura PTH

Tabella 2.2: difetti della saldatura reflow

Saldatura Reflow		
Descrizione	Possibili cause	Contromisure
Solder bridging conductors	Pasta saldante forma singoli punti conduttivi	Correggere la deposizione della pasta saldante
Discolored PCB laminated	Temperature troppo elevate	Profilo di saldatura troppo elevato, uso di raggi infrarossi a lunghezza d'onda troppo alta, PCB non allineata
Component placement, displacement	Posizionamento incorretto, componente si sposta a causa della tensione superficiale	Verificare le vibrazioni e le tensioni superficiali e la tolleranza dei componenti
Grainy joint	Contaminazione, troppo metallo nel giunto	Tempo di saldatura più breve
Open solder joint	Mancanza di contatto tra pasta e piazzola	Controllare la deposizione della pasta saldante
Solder balls	Il fluxante porta via la saldatura dal giunto	Aumentare il contenuto di metallo nella pasta, usare pasta più viscosa
Lifting of a component	Tensioni superficiali diverse, asimmetria delle metallizzazioni	Disporre la pasta in modo eguale

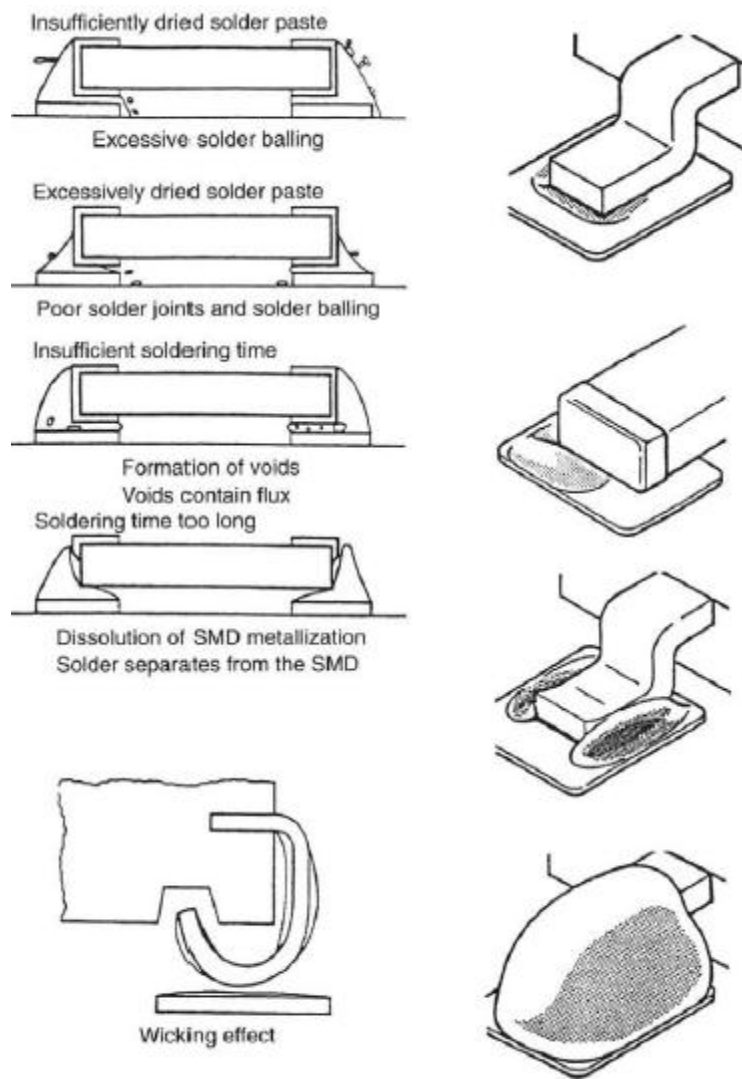


Figura 2.11: esempi di difetti di saldatura SMT

2.4 Burn-in

Il burn-in è il processo a cui possono essere sottoposti i prodotti elettronici e non, prima di essere messi in servizio. Esso serve ad evidenziare quei prodotti difettosi che si guasterebbero nei primi mesi di vita operativa. La discriminazione tra fare/non fare il burn-in, è di carattere sia economico e sia di sicurezza. Infatti effettuare il burn-in comporta per le aziende un costo sia in termini di denaro che di tempo, che però deve essere confrontato con i costi che ne deriverebbero se il prodotto si guastasse in garanzia. Dal punto di vista della sicurezza invece, effettuare il burn-in diventa necessario per quelle applicazioni sensibili, ad esempio le schede elettroniche aeronautiche, pacemaker, ecc.

Come detto prima il burn-in ha la funzione di screening dei prodotti, cioè mira a togliere quelli che si guasterebbero a causa della cosiddetta *mortalità infantile*, ovvero durante la parte iniziale, ad alto tasso di guasto, della curva a vasca da bagno relativa all'affidabilità dei prodotti elettronici.

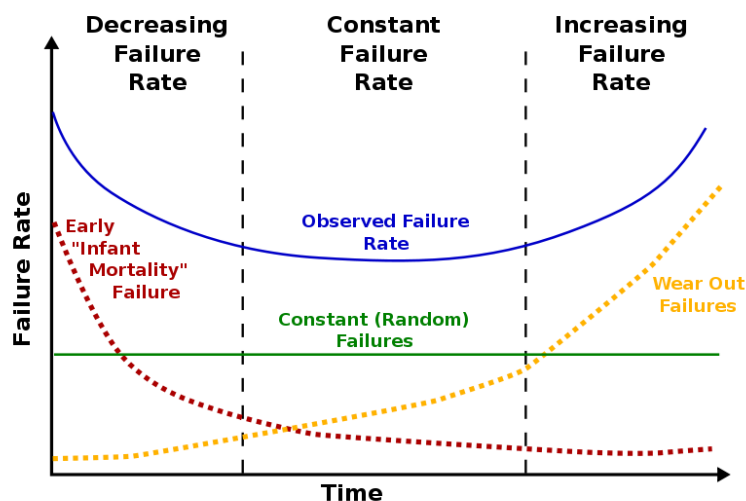


Figura 2.12: curva a vasca da bagno

La figura 2.12 mostra un classico grafico di curva a vasca da bagno, dove viene riportato l'andamento del tasso di guasto in funzione del tempo. Da questo grafico possiamo distinguere tre zone principali: la prima, dove il tasso di guasto è elevato e decrescente nel tempo, detta zona ad alta mortalità infantile; la seconda, dove il tasso di guasto è circa costante, indica il periodo operativo del prodotto; e la terza, con tasso di guasto crescente nel tempo sta ad indicare l'usura, ovvero che il prodotto diventa obsoleto.

La condizione più importante affinché il burn-in sia efficace, è che il tasso di guasto segua la curva a vasca da bagno, ovvero che ci siano un numero rimarchevole di guasti iniziali, con un tasso di guasto in discesa dopo il periodo iniziale stesso. Producendo stress in tutti i dispositivi per un certo lasso di tempo, i dispositivi con il tasso di guasto più alto saranno i primi a guastarsi, e potranno essere eliminati dalla popolazione. Pertanto, effettuando il burn-in, i guasti del sistema nella fase iniziale dell'utilizzo possono essere anticipati, ovviamente questo comporta che il tempo di funzionamento complessivo del prodotto sia minore del tempo di funzionamento senza burn-in, a causa della durata temporale del processo di burn-in stesso.

Il burn-in provoca quindi un invecchiamento accelerato del prodotto, il tasso di invecchiamento accelerato non è sempre agevole da calcolare, e dipende dal modo in cui si effettua il burn-in. La tipologia del burn-in dipende dal meccanismo di guasto dei prodotti, e quindi non è semplice effettuare un burn-in che sia in grado di attivare tutti i meccanismi di guasto di un prodotto. In elettronica un parametro critico per tutti i componenti è la temperatura, ed infatti, l'uso di questa per accelerare la vita di un prodotto elettronico è il più classico e semplice da realizzare. Dopo essere stati assemblati, i prodotti stazionano in

una camera dove la temperatura è maggiore di quella normale di utilizzo. Questa temperatura ovviamente deve essere controllata, e scelta in modo tale da non essere troppo elevata e quindi fondere certi materiali. Durante il burn-in i prodotti possono essere alimentati o meno, se alimentati la temperatura del prodotto stesso sarà ovviamente maggiore se confrontata con un prodotto non alimentato. Effettuando lo screening dei prodotti difettosi in questo modo, si suppone che gran parte dei meccanismi di guasto siano attivati termicamente.

Quindi i prodotti elettronici che stazionano nella camera termica subiscono uno stress che comporta un invecchiamento accelerato dello stesso. Calcolare di quanto invecchiano i prodotti sottoposti a invecchiamento accelerato, cioè ricavare il fattore di accelerazione, fornisce importanti informazioni, come ad esempio la proporzione tra tempo di utilizzo a temperatura ambiente e tempo di utilizzo a temperatura del burn-in. Questo valore permette di scegliere il tempo che il prodotto stazionerà nella camera del burn-in per simulare un mese di lavoro, ad esempio. Il fattore di accelerazione è uguale per definizione, al tempo medio necessario ad un prodotto per guastarsi alla temperatura di utilizzo ($MTTF(T_{amb})$) fratto il tempo medio per guastarsi dello stesso prodotto alla temperatura del burn-in ($MTTF(T_{bi})$), o equivalentemente al tasso di guasto alla temperatura di utilizzo fratto il tasso di guasto alla temperatura del burn-in.

$$AF = \frac{MTTF(T_{amb})}{MTTF(T_{bi})} = \frac{\lambda(T_{amb})}{\lambda(T_{bi})}$$

Ovviamente non è sempre agevole misurare questi due tempi, e quindi per calcolare il fattore di accelerazione si ricorre

spesso alla formula empirica di Arrhenius, la quale esprime il tasso di guasto in funzione della temperatura:

$$\lambda(T) = e^{-\frac{qE}{KT}}$$

Dove:

- Q è la carica dell'elettrone, 1.60206×10^{-19} C
- E rappresenta l'energia di attivazione, espressa in eV
- K è la costante di Boltzman, 1.38044×10^{-23} J/K
- T è la temperatura, espressa in Kelvin ($^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.18$)

Usando questa espressione è possibile ricavare il tasso di guasto alla temperatura ambiente e alla temperatura del burn-in, ricavando quindi il valore del tasso di accelerazione.

$$AF = \frac{\lambda(T_{amb})}{\lambda(T_{bi})} = e^{\frac{qE}{K}(\frac{1}{T_{amb}} - \frac{1}{T_{bi}})}$$

A parte le temperatura (T_{amb} : temperatura ambiente, T_{bi} : temperatura camera di burn-in), che è sufficiente misurarle, il dato critico rappresenta l'energia di attivazione. Per definizione essa rappresenta l'energia necessaria al sistema per iniziare un particolare processo. Ogni componente ha una propria energia di attivazione, e varia in base ai materiali usati, alla tipologia di fabbricazione di package, ecc. Effettuare il burn-in ad una scheda elettronica, comporta l'invecchiamento di moltissimi componenti contemporaneamente, ognuno con la propria energia di attivazione. È evidente quindi, che la scelta del fattore di accelerazione non è sempre agevole, in quanto ogni prodotto invecchierà in modo diverso se sottoposto a burn-in. Una possibile strategia, consiste nel fissare il tempo reale d'invecchiamento, e calcolare il tempo di stazionamento in camera di burn-in per il componente con energia di attivazione più

bassa, così si è sicuri che tutti gli altri componenti sono invecchiati maggiormente rispetto al tempo fissato. Un'altra strategia consiste nell'individuare i componenti più critici e usare le loro energie di attivazione per ricavare l'energia di attivazione.

Un altro fattore che può favorire l'invecchiamento è il campo elettrico, dovuto all'alimentazione. È possibile combinare l'effetto della temperatura con il campo elettrico alimentando i prodotti durante lo stazionamento nella camera termica del burn-in. È possibile integrare la formula di Arrhenius vista precedentemente con il contributo del campo elettrico nel seguente modo:

$$AF = e^{\left[\frac{qE}{K} \left(\frac{1}{T_{amb}} - \frac{1}{T_{bi}} \right) + K_{ost} (V_2 - V_1) \right]}$$

Dove q , E , K , T sono gli stessi parametri visti prima, mentre k_{ost} è una costante che dipende dal tipo di componenti utilizzati, e V_1 e V_2 rappresentano rispettivamente la tensione nominale di utilizzo e la tensione di stress accelerato.

Un esempio di burn-in può essere il seguente:

- Temperatura di utilizzo: 30° C
 - Temperatura camera burn-in: 80° C
 - Energia di attivazione 0.9eV
- ➔ $AF = 131$, che significa che 3 giorni in burn-in equivalgono a più di un anno di lavoro.

2.5 Coating

Il rivestimento delle schede elettroniche mediante particolari resine protettive è un processo collaudato che originariamente è nato per salvaguardare quei dispositivi che andavano installati in ambienti marini, oppure erano destinati ad applicazioni militari e aerospaziali; ambienti caratterizzati da condizioni operative particolarmente difficili.

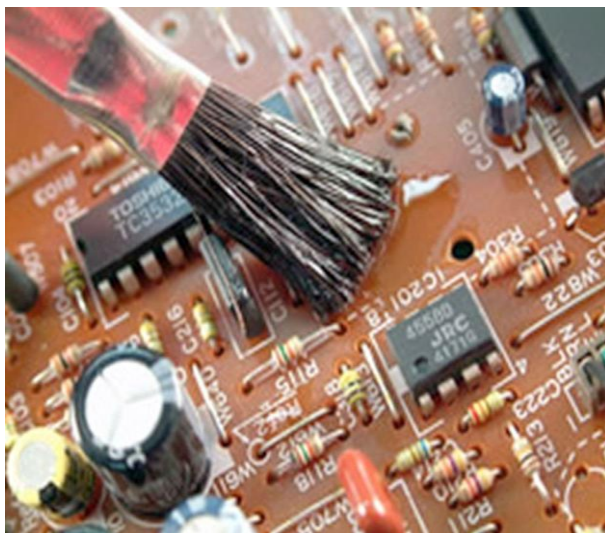


Figura 2.13: deposizione del coating



Figura 2.14: prodotto completo di coating

I positivi riscontri derivanti dall'applicazione di queste resine protettive, ne hanno esteso l'utilizzo a molti altri settori come l'automotive, il ferroviario, l'elettromedicale, oltre che ad alcune comparti applicazioni industriali.

Il conformal coating, o tropicalizzazione, ha un campo d'azione molto ampio, protegge i dispositivi elettronici dalla presenza di solventi, costituisce una valida barriera protettiva contro l'umidità, le polveri o altri contaminanti potenzialmente dannosi per il corretto funzionamento e la conservazione del circuito assemblato nel tempo. Migliorando l'isolamento elettrico, il coating previene la crescita di dendriti e la formazione di ossidi sui pcb. La crescita dei dendriti può portare alla formazione di corti che ovviamente potrebbero pregiudicare il corretto funzionamento della scheda, così come l'innescare di processi corrosivi.

In alcune applicazioni il conformal coating assume funzione di protezione meccanica nei confronti dei cicli termici e contro shock e vibrazioni. Il processo consiste nel rivestire il PCB assemblato con un film di resina che, sottoposta a un'appropriata temperatura, cristallizza e forma un corpo unico con il substrato e i componenti saldati, isolandoli completamente dal mondo esterno.

2.5.1 Funzione e requisiti

Come detto prima, le principali funzioni del coating per circuiti elettronici sono quelle di proteggere il prodotto da agenti contaminanti che potrebbero degradare le prestazioni o rendere il prodotto inutilizzabile, e fornire isolamento elettrico. Oltre alla protezione da umidità, agenti chimici, corrosione e guasti elet-

trici, fornisce anche una discreta protezione meccanica e termica.

Le specifiche del coating applicato dipendono dall'uso e dall'ambiente in cui il prodotto dovrà operare. La protezione da umidità e ambienti salini ad esempio non è richiesta per applicazioni spaziali, ma sarà invece richiesta un'ottima protezione meccanica, termica e alle radiazioni, nonché un perfetto isolamento ermetico del prodotto. L'unica condizione che è fondamentale per tutti i tipi di coating è l'adesione di questa protezione alla scheda, e deve essere mantenuta ottimale per tutta la vita operativa dello stesso. Se non è garantita l'adesione ottimale, su tutte le superfici dove viene depositato il coating, la protezione che esso comporta non sarà ottimale. L'adesione dipende principalmente dal tipo di coating, dal suo modo di deposizione ed ovviamente dal tipo di superficie su cui verrà applicato.

Le schede elettroniche contengono molti componenti, ognuno con il proprio materiale e condizioni superficiali. Prima di diventare il prodotto finito, la PCB subisce molti passaggi, deposizione delle piste, assemblaggio dei componenti, deposito del flussante, saldatura, test, ecc. Ovviamente se i residui di questi processi non sono ben rimossi, l'adesione del coating non potrà essere ottimale. Basti pensare che anche un'a semplice impronta digitale può, in alcuni casi e con particolari tipi di coating, portare alla formazione di bolle, dopo l'esposizione all'umidità e quindi al degrado del coating. (I sali depositati con le impronte digitali sono igroscopici, cioè assorbono e mantengono l'umidità, e questo crea il sollevamento del rivestimento).

Supponendo la superficie perfettamente libera da agenti inquinanti, l'adesione è la funzione della capacità del coating li-

quido di bagnare la superficie, e può essere misurata dall'angolo che il liquido forma con la superficie solida (come per i flussanti e la lega saldante). Come già detto prima, una goccia di liquido su una superficie forma un angolo dovuto all'interazione di tre forze, che contengono i tensionamenti interfacciali fra superficie e liquido, aria e liquido e superficie aria. Più piccolo è quest'angolo e migliore sarà l'adesione del coating. L'angolo di contatto e la bagnabilità dipendono dalla tensione superficiale del rivestimento, e generalmente la miglior bagnabilità si ha sui materiali che hanno elevate energie di superficie, e rivestimenti che hanno tensioni superficiali basse. Fortunatamente, sia le superfici che il coating di rivestimento possono essere modificati opportunamente per migliorare bagnabilità e adesione. Gli agenti tensioattivi, i solventi polari ed i diluenti possono essere aggiunti alle sostanze di coating per ridurre la tensione superficiale e aumentare la bagnabilità. Le superfici solide invece, possono essere trattate chimicamente o fisicamente per ottimizzare l'adesione del coating.

Altre caratteristiche di un materiale adatto ad essere usato come coating sono:

- Basso moisture vapor transmission rate (MVTR) e coefficiente di assorbimento acquoso basso.
- No delaminazione, sfaldamento o formazioni di residui chimici se sottoposto ad invecchiamento accelerato, alte temperature e umidità o raggi ultravioletti.
- Non nutriente, deve essere resistente ai microorganismi e prevenire la formazione muffa o simili.
- Basso degassamento.

- Basso coefficiente di elasticità, e dilatazione termica simile a quella del prodotto.
- Deve garantire la protezione dei metalli presenti sulla scheda da corrosione.
- Eccellenti proprietà elettriche come: resistenza d'isolamento, costante dielettrica, costante di dispersione. Devono essere garantite anche negli ambienti più ostili.
- E ovviamente deve essere facilmente processabile, non tossico, non infiammabile e possibilmente economico.

2.5.2 Metodi di applicazione

Prima di essere applicato il coating, la scheda può subire una fase di pulitura, per garantire l'adesione ottimale dello strato protettivo. Ovviamente dopo la pulizia è necessario che la scheda sia ben asciugata prima di applicare il coating. Si può eseguire questa fase di asciugatura mediante getti di aria calda o altri gas. È anche possibile eliminare le tracce d'acqua o del solvente usato per la pulizia mediante delle camere a vuoto, ma sono molto costose. Ovviamente nel caso siano presenti ossidi sulla superficie da trattare questi devono essere rimossi, meccanicamente e /o chimicamente.

La seguente tabella elenca i metodi più comuni per la deposizione del coating, elencando vantaggi e svantaggi per ognuno:

Tabella 2.3: modalità di applicazione del coating con vatnaggi/svantaggi

Metodo	Vantaggi	Svantaggi
Spray	Veloce, basso costo, adattabile a tutte le superfici	Materiale perso durante la spruzzatura, difficoltà ad applicare uniformemente il coating e rendere lo spessore uniforme
Dip (immersione)	Basso costo, buona copertura su tutte le parti	Deve essere controllata la viscosità del liquido, rischio di contaminazione della vasca d'immersione
Screen print	Possibilità di disporre il coating solo su certe aree, facilità di controllo del processo (area di deposito e spessore)	Richiede superfici piane e macchinari costosi
Spin coat	Facilmente riproducibile, deposizione di strati ultrasottili, spessore uniforme	Macchinari costosi, materiale perso durante l'applicazione
Vacuum impregnate	Copertura completa,	richiede macchinari appositi
Vapor deposition	Permette l'applicazione di coating ultra sottili, eccellente copertura, alta purezza	Specifico solo per certi tipi di coating, richiede attrezzature speciali
Brushing	Molto semplice	Scarsa automazione, poca precisione e scarso controllo del processo

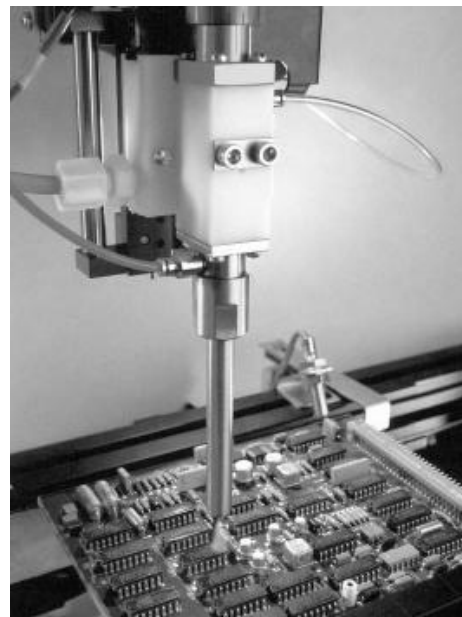
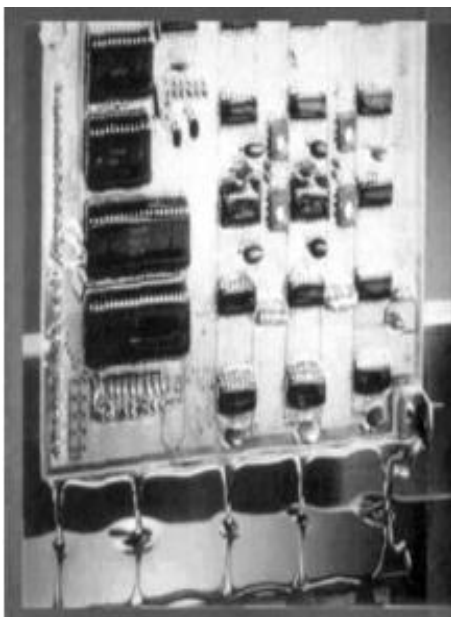
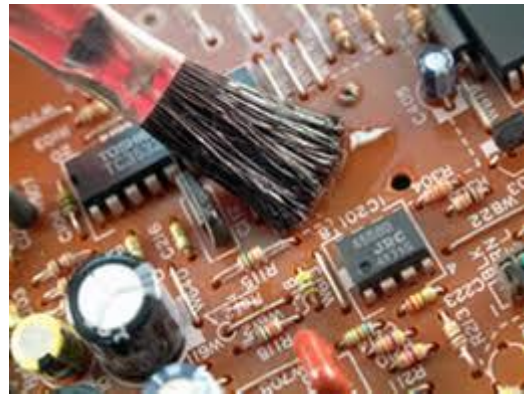
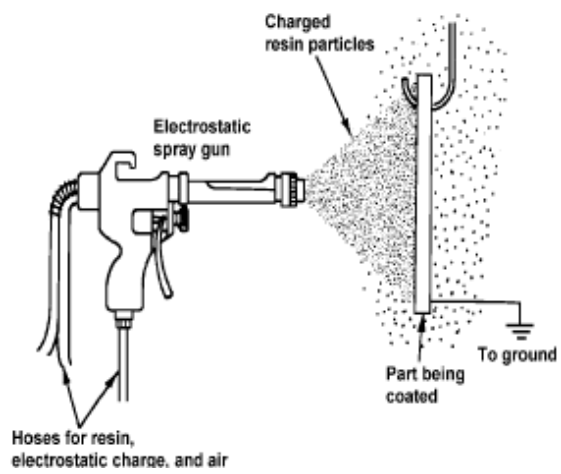


Figura 2.15: metodi di deposizione del coating

Per quanto riguarda il trattamento ed il processo di polimerizzazione, esistono varie modalità. Se ne darà ora una breve descrizione:

- Heat curing: questo metodo consiste nel far evaporare il solvente contenuto nel coating. Richiede tempo ed è presente il rischio di emissione di gas. Asciugatura completa della scheda.
- Ultraviolet Photocuring: sfrutta delle lampade a raggi ultravioletti per far asciugare il coating. Permette un'asciugatura veloce e con poche emissioni di gas. I raggi UV non potrebbero essere in grado di raggiungere ogni parte della scheda.
- Microwave curing: sfrutta le microonde per far asciugare il materiale di coating, raggiunge ogni parte della scheda ed l'asciugatura è rapida. Per contro una potenza troppo elevata può indurre difetti nei componenti sensibili, se ben progettato però, lo stress offerto alla scheda è simile a quello termico dell'heat curing.

2.5.3 Conformal Coating

Non tutti i tipi di coating si apprestano ad essere usati, in quanto ognuno presenta le sue caratteristiche. Quando il cliente richiede al costruttore di proteggere i prodotti che ha ordinato mediante coating, difficilmente dirà il tipo di coating che vuole, ma più semplicemente dirà che lo vuole. Questo comporta alle aziende non pochi problemi, in quanto, dalle descrizioni del cliente sull'uso che farà del prodotto, dovranno capire il tipo di coating necessario. Fortunatamente ci sono delle normative che definiscono i così detti conformal coating, ovvero indicano le caratteristiche che deve avere un coating per essere conformal

coating. Normalmente, le aziende che proteggono i propri prodotti con il coating usano i conformal coating, poiché è possibile fornire al cliente la certificazione del prodotto, e garantirgli una “protezione certificata”. Di seguito si elencano le funzioni che deve un coating deve garantire per essere conformal coating:

- Prevenire le correnti di perdita (leakage current) e guasti elettrici dovuti all’umidità e agli agenti inquinanti
- Prevenire la corrosione delle saldature, piste metalliche, reofori dei componenti, ecc.
- Impedire o ridurre la formazione di filamenti conduttivi anodici, metal migration.
- Ridurre o prevenire scariche elettriche ad arco
- Fornire supporto meccanico e migliorare la resistenza del prodotto a vibrazioni ed urti.

Le principali normative che riguardano i conformal coating sono:

- MIL-I-46058C, Insulating Compound, Electrical (For Coating Printed Circuit Assemblies)
- IPC-CC-830A, Qualification and Performance of Electrical Insulating Compound for Printed Board Assemblies

2.6: Test

I dispositivi per il test automatico dei sistemi elettronici hanno ormai raggiunto ampia diffusione, in conseguenza della crescente importanza assunta dalla fase di collaudo e controllo di qualità nel ciclo produttivo di un'industria. L'aumentata complessità dei prodotti elettronici comporta infatti test molto elaborati, mentre realizzazioni circuitali sempre più compatte rendono problematica un'analisi puntuale e completa con l'uso di tecniche tradizionali, diventa così pressoché indispensabile automatizzare in vario modo tutte le procedure di test.

Nella definizione dei criteri in base ai quali procedere va tenuto conto sia degli aspetti tecnici che di quelli più propriamente economici ed industriali, soprattutto in considerazione del fatto che l'automazione dei test richiede spesso investimenti consistenti.

Un sistema elettronico si compone in genere di un certo numero di schede a circuito stampato, PCB, sulle quali vengono montati i singoli componenti. L'uso ormai diffuso di circuiti a basso assorbimento di potenza e di metodi molto efficienti di dissipazione del calore consente di disporre i componenti a poca distanza l'uno dall'altro senza incorrere in problemi di natura termica.

Usualmente, viene calcolato che il costo dell'individuazione ed eliminazione di un guasto aumenta di un fattore dieci dopo ogni successiva fase di lavorazione; il costo massimo si verifica, ovviamente, nel caso di riparazione in garanzia del prodotto presso il cliente. La tendenza attuale è pertanto quella di eseguire verifiche distribuite lungo l'intero processo produttivo, in modo da essere in grado di rilevare quanto prima eventuali guasti o imperfezioni. È molto più vantaggioso assicu-

rare in ogni fase un elevato livello di qualità, e ridurre quanto più possibile l'entità degli interventi dovuti a guasti. Le fasi salienti di un collaudo si possono suddividere, secondo l'oggetto cui sono rivolte, in test sui componenti integrati, test sulle schede e test sul sistema completo

Il test sui componenti integrati viene svolto sia dal fabbricante, allo scopo di caratterizzare i componenti e di controllare la qualità della produzione, sia dall'acquirente, come collaudo di accettazione del materiale ricevuto. Ovviamente solo per i componenti altamente critici l'acquirente effettuerà un controllo al 100 per cento, negli altri casi potrà effettuare un controllo a campione o una tantum, o addirittura "fidarsi" del fornitore e non effettuare alcun controllo, eccezion fatta per la verifica che il componente sia effettivamente quello ordinato.

Il test sulle schede si può ritenere cruciale per un sistema elettronico; in questa fase infatti si rileva la maggior parte dei difetti o dei guasti imputabili alla lavorazione. Il collaudo in a livello di scheda presenta il vantaggio di rilevare eventuali problemi in una fase in cui tale attività non è ancora eccessivamente difficoltosa. Allo stesso tempo, le successive tappe verso la realizzazione del prodotto completo si possono ormai ritenere relativamente semplici, e quindi la verifica finale ne risulta facilitata. Gli obiettivi del collaudo automatico sono essenzialmente due:

- Verificare se la scheda in esame funziona (test GO/NO-GO)
- In caso di risposta negativa, localizzare gli eventuali guasti, onde consentirne la riparazione.

Interessa altresì che il test non danneggi la scheda, non richieda di disconnettere alcun componente e sia il più veloce possibile.

Le apparecchiature impiegate per il collaudo delle schede a circuito stampato possono effettuare due diversi tipi di analisi, denominati *in circuit* e *funzionale*. Si tratta in realtà di una classificazione di massima, poiché i due metodi sono in parte sovrapponibili e in parte complementari; d'altra parte esistono test in grado di effettuare queste due analisi insieme, denominati *combi nazionali*.

Nel test *in circuit*, la stimolazione e la misura riguardano un solo componente per volta tra quelli inseriti in una scheda. Quindi in questa analisi, i componenti vengono testati dal punto di vista elettrico per capire se funzionano o no, e non si valuta il loro contributo nell'insieme. Ad esempio il controllo di un resistore si effettuerà misurando la sua resistenza.

Nel test funzionale viene valutato il funzionamento della scheda nel suo complesso; i segnali di stimolazione sono perciò applicati ai suoi ingressi effettivi, e analogamente le risposte vanno prelevate dalle reali uscite. In questa fase di test l'aspetto più importante è l'individuazione di appropriate sequenze di segnali d'ingresso, tali da consentire la completa verifica delle funzioni previste, sia il rilevamento e, per quanto possibile, la localizzazione degli eventuali guasti.

CAPITOLO 3

STANDARD IPC

ACCETTABILITA' DEGLI ASSEMBLATI ELETTRONICI

Sommario

3.1 Prevenzione EOS/ESD	49
3.3 Saldature	52
3.3.1 Requisiti di accettabilità delle saldature	53
3.3.4 Anomalie della saldatura, rifusione della pasta saldante	59
3.3.5 Anomalie nella saldatura, non bagnatura	60
3.3.6 Anomalie nella saldatura, dewetting	60
3.3.7 Anomalie nella saldatura, lega in eccesso, sfere di saldatura, ponti di saldatura	61
3.3.8 Anomalie nella saldatura, saldatura mossa	63
3.4 Saldatura dei fori metallizzati	64
3.5 Saldatura, risalita verticale	66
3.6 Saldatura, lato primario, reoforo ed interno foro	67
3.7 Conformal coating	68

Introduzione

Il Documento IPC-A-610D IT, rappresenta degli standard che gli assemblati elettronici dovrebbero avere. Essendo degli standard, non norme, le aziende non sono obbligate a seguire le linee guida di questo documento. È vero però, che seguire queste linee guida comporta vantaggi per quanto riguarda la qualità dei prodotti ed i rapporti con i clienti (il cliente può richiedere per contratto che i prodotti che egli vuole acquistare rispettino questi standard, o anche il fornitore può dichiarare ai propri clienti che i suoi prodotti rispettano questi standard). Il documento contiene informazioni riguardanti il maneggiamento, i requisiti meccanici, le saldature, le distanze tra piste, ecc. Esso fornisce inoltre degli esempi di assemblati standard, accettabili e difettosi per ogni tipo di lavorazione presente in un'industria elettronica. In questo capitolo saranno riportate delle informazioni colte da questi standard riguardanti prevalentemente i requisiti delle saldature.

Conviene riportare ora il significato di alcuni termini che sono usati frequentemente nel documento IPC:

- **Condizione TARGET:** è una condizione che rappresenta la perfezione o preferita; se da un lato essa rappresenta la condizione desiderata, dall'altro essa non è sempre raggiungibile w può non esser necessaria per assicurare il grado di affidabilità dell'assemblato nel suo ambiente operativo.
- **Condizione ACCETTABILE:** sta ad indicare che le condizioni descritte, benché non siano necessariamente perfette, manterranno l'integrità e l'affidabilità dell'assemblato durante il funzionamento nel suo ambiente operativo.

- **Condizione DIFETTOSA:** un difetto è una condizione che può non essere sufficiente ad assicurare forma, idoneità o funzionamento dell'assemblato nel suo ambiente operativo.

3.1 Prevenzione EOS/ESD

I componenti elettronici possono venire danneggiati da energia elettrica indesiderata generata da fonti diverse. Questa energia può essere il frutto della differenza di potenziale elettrostatico (ESD), oppure la conseguenza di scariche elettriche causate dalle attrezzature di lavorazione. Ovviamente alcuni dispositivi sono più sensibili di altri, ed il grado di sensibilità dipende alla progettazione dello stesso. In particolare i dispositivi più sensibili sono i circuiti integrati, e fra essi quelli con maggiore velocità e dimensioni ridotte.

Quando si deve considerare la sensibilità di un prodotto, si deve tener presente quella relativa al componente più sensibile presente nell'assemblato. L'applicazione di un'energia indesiderata può avere effetto analogo a quello di un segnale applicato durante il normale funzionamento del circuito e venire interpretato come tale.

Prima di maneggiare o processare componenti sensibili, si deve verificare che le attrezzature e gli strumenti non generino elettricità con picchi di tensione che possano recar danno. Tipicamente i picchi di tensione accettabili generati da strumenti si aggirano attorno a 0.3 V. Poiché le prestazioni delle attrezzature possono degenerare nel tempo, spesso le specifiche ESD richiedono un controllo periodico delle stesse. Per assicurare una condizione costante a non provocare danni EOS, è neces-

sario che le attrezzature di processo siano sottoposte a programmi di manutenzione.

Le tipiche sorgenti di energia statica sono: superfici di lavoro, pavimenti, vestiti del personale, sedie, materiali d'imballo, ecc. La miglior prevenzione contro i danni ESD è la combinazione tra prevenzione della formazione di cariche elettrostatiche e la loro eliminazione quando queste vengono generate. Tutte le tecniche di protezione contro l'ESD ed i prodotti necessari indirizzano verso una o ad entrambe le soluzioni. L'energia elettrostatica viene trasferita per contatto o per la stretta vicinanza al componente. Gli isolanti sono tra i maggiori responsabili di questo fenomeno.

I componenti e gli assemblati sensibili devono essere protetti dalla sorgente di elettricità statica qualora non siano processati in luoghi o stazioni di lavoro in sicurezza antistatica. I materiali protettivi di imballaggio possono essere sostanzialmente di tre tipi:

- Schermatura statica: servono a prevenire che la scarica elettrostatica passi direttamente sull'assemblato attraverso l'imballo.
- Materiale d'imballo antistatico: materiali poco costosi che vengono utilizzati come materiale riempitivo e come materiale divisorio nell'imballaggio di articoli sensibili ESD. Se movimentati questi materiali non creano carica elettrica.
- Materiali statici dissipativi: sono quei materiali che possiedono una sufficiente conducibilità da permettere la dissipazione delle cariche nei punti dov'è concentrata l'energia.

Oltre ai contenitori antistatici dove devono essere riposti i componenti/assemblati sensibili quando non sono processati, va ricordato che anche il personale di lavoro deve essere adeguatamente “reso” antistatico. Per fare questo è necessario fornire ai dipendenti vestiario antistatico, e assicurarsi che essi lo indossano, nonché è necessario che essi verifichino periodicamente che il materiale antistatico fornito loro continui ad esserlo. Ovviamente oltre ai macchinari, che devono essere antistatici nel caso siano previsti per lavorare con dispositivi sensibili, (è il caso del forno reflow SMD, ma non del flessibile ad esempio), anche i banchi da lavoro e sedie devono essere antistatici. E nel caso un operatore maneggi componenti frequentemente, ad esempio durante l’assemblaggio PTH, è buona norma che egli indossi oltre al vestiario antistatico anche il braccialeto antistatico che andrà opportunamente collegato a terra. La seguente figura mostra un tavolo antistatico con circuito elettrico di collegamento del braccialeto antistatico.

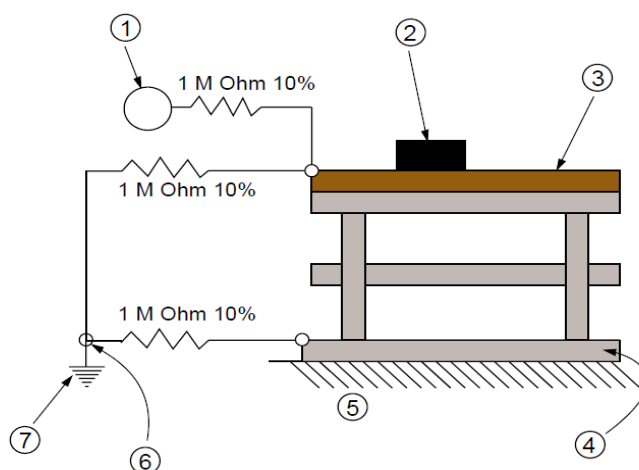


Figura 3.1: banco da lavoro antistatico

1. Cinturino personale
2. Vassoi, shunts, ecc di protezione EOS

3. Piano del tavolo di protezione EOS
4. Pavimento o tappeto di protezione EOS
5. Fondamenta
6. Punto comune di messa a terra
7. Terra

3.3 Saldature

Questa sezione stabilisce tutti i requisiti di accettabilità per tutti i tipi di connessioni saldate. I criteri relativi alle connessioni vengono applicati indipendentemente da quale sia stato il metodo di saldatura impiegato. La vasta scelta di leghe saldanti utilizzate può rappresentare un angolo di contatto che varia da molto piccolo o quasi zero gradi a quello tipico di novanta gradi. La connessione saldata, giunto di saldatura, accettabile deve mostrare bagnatura ed aderenza nel punto dove la lega saldante fonde e copre la superficie saldata. Giunti/saldature/connessioni accettabili senza piombo o stagno piombo possono mostrare un aspetto simile, ma quelle lead free tenderanno ad avere superficie rugosa, angolo di contatto maggiore.

3.3.1 Requisiti di accettabilità delle saldature

Target

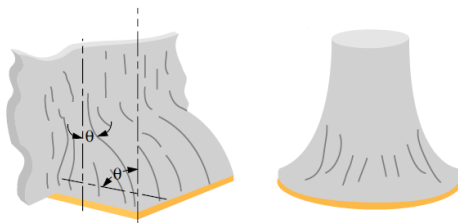


Figura 3.2: saldatura/giunto Target

- Il giunto di saldatura ha un'apparenza liscia e mostra una buona bagnatura della lega sulle parti che vengono unite.
- Si può facilmente notare la linea di separazione tra le parti.
- Sui terminali che sono stati uniti, la lega crea un bordo rastremato con linee sottili.
- Il filetto del giunto ha una forma concava.

Accettabile

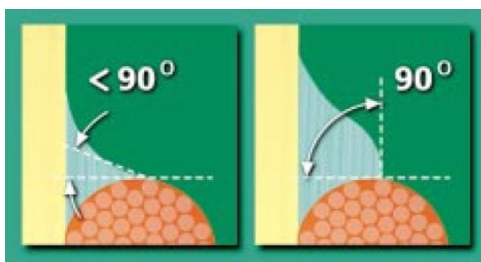


Figura 3.3: saldatura/giunto Target

- Alcuni materiali e processi, come ad esempio le leghe senza piombo ed il lento raffreddamento in presenza di circuiti con grandi masse, possono produrre saldature dall'aspetto opaco, grigio o granuloso.

- L'angolo di bagnatura della connessione saldata non supera i 90 gradi. Eccezionalmente la connessione saldata ad una terminazione può mostrare un angolo di bagnatura maggiore di novanta gradi quando il profilo della sborda dalla piazzola o dal solder resist.

Le seguenti figure illustrano connessioni accettabili inerenti a diversi tipi di lega saldante e condizioni di processo.

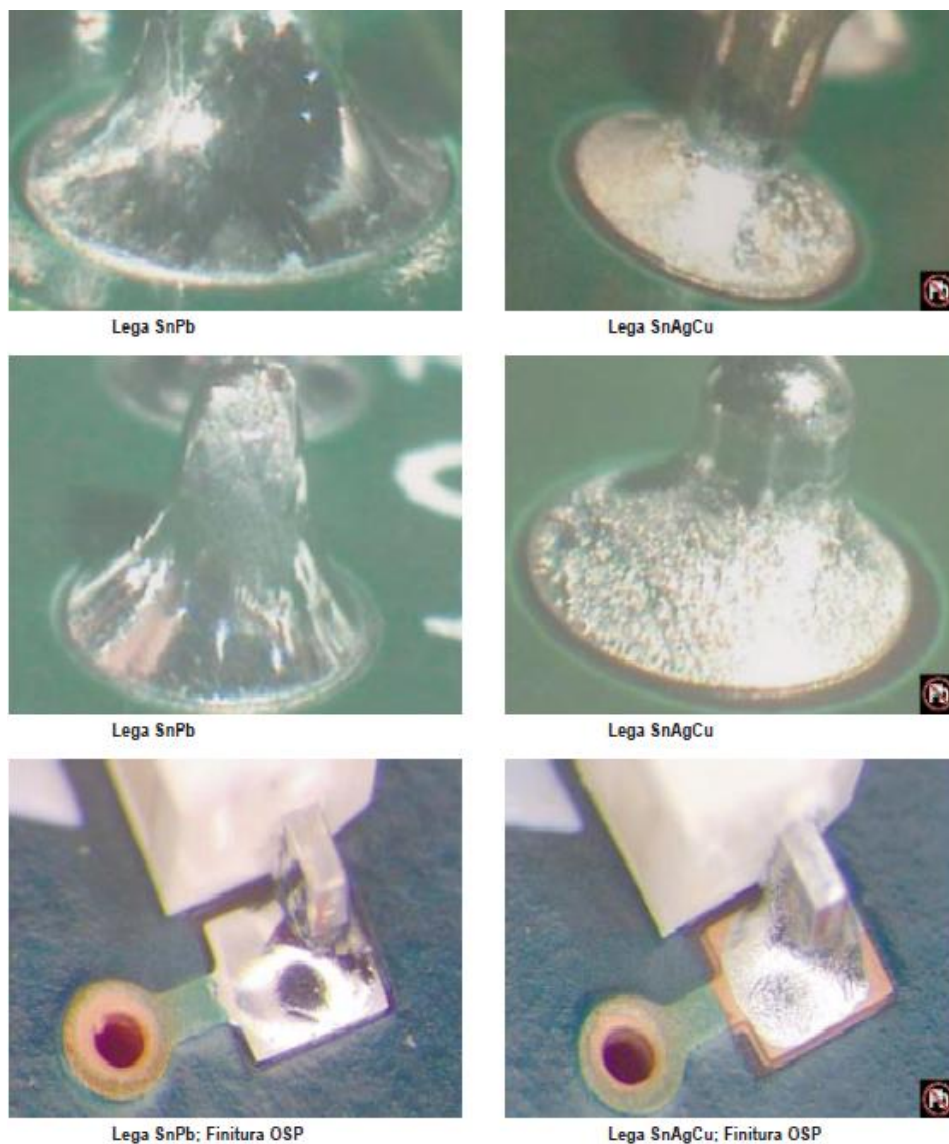
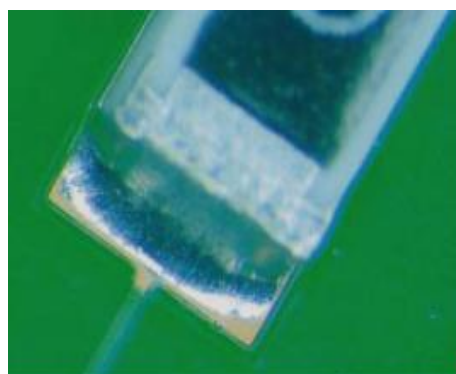
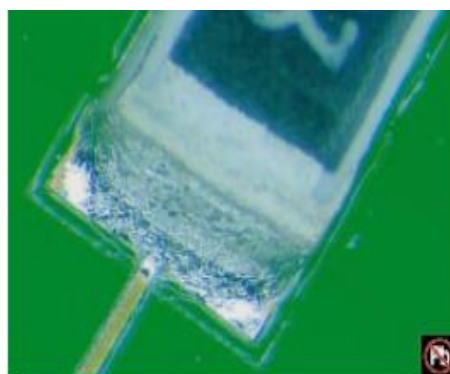


Figura 3.4: esempi di saldature accettabili, a sinistra leghe a base di piombo, a destra leghe lead free



Lega SnPb; Processo No Clean



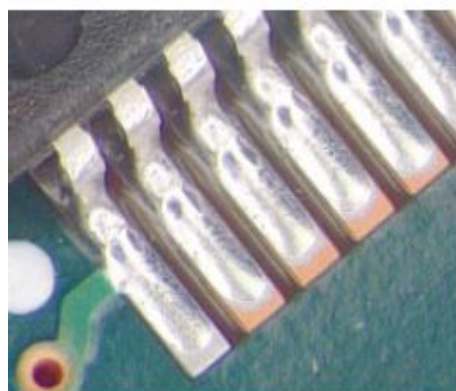
Lega SnAgCu; Processo No Clean



Lega SnPb; Flussante a base acquosa



Lega SnAgCu; Flussante a base acquosa

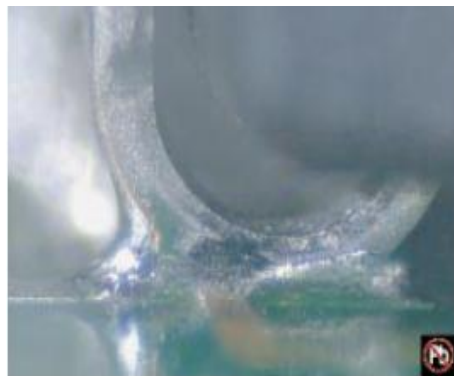


Lega SnPb; Flussante a base acquosa

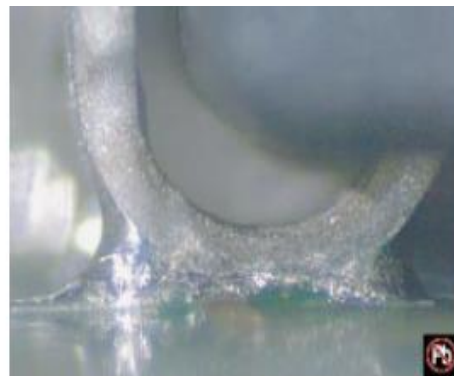


Lega SnAgCu; Flussante a base acquosa

Figura 3.5: esempi di saldature accettabili, a sinistra leghe a base di piombo, a destra leghe lead free



Lega SnAgCu; Processo No Clean, Rifusione in N2



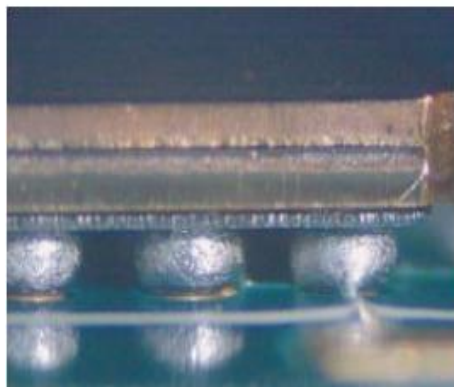
Lega SnAgCu; Processo No Clean; Rifusione in Aria



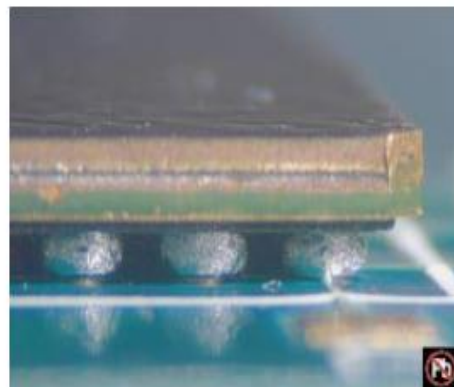
Lega SnPb; Processo No Clean



Lega SnAgCu; Processo No Clean



Lega SnPb; Processo No Clean



Lega SnAgCu; Processo No Clean

Figura 3.6: esempi di saldature accettabili, a sinistra leghe a base di piombo, a destra leghe lead free

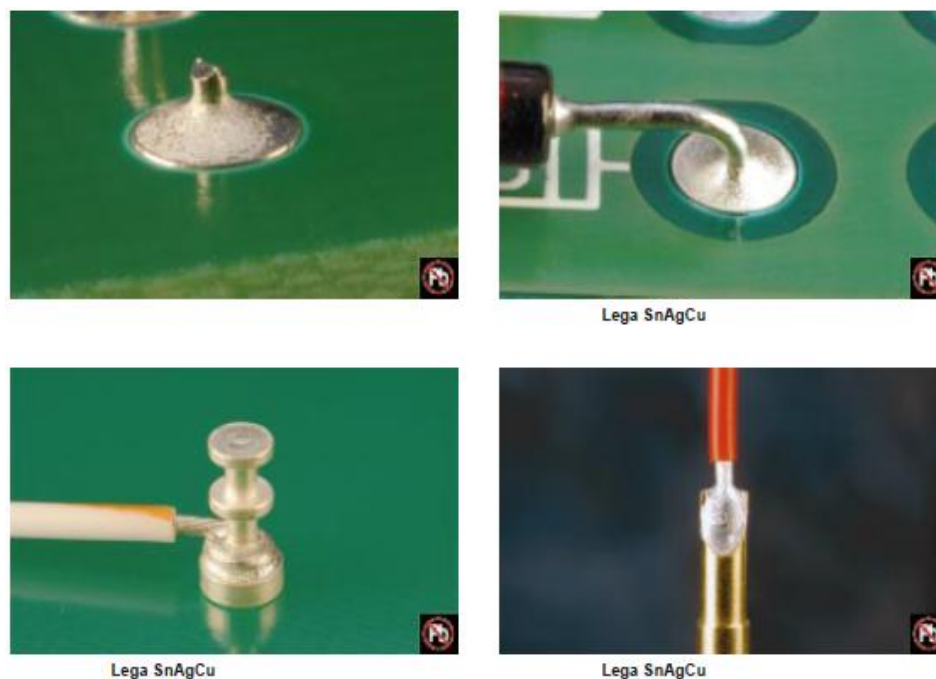


Figura 3.7: esempi di saldature accettabili, a sinistra leghe a base di piombo, a destra leghe lead free

3.3.2 Anomalie di saldatura, metallo di base esposto

L'esposizione del metallo base sui reofori dei componenti, sui conduttori o sulla superficie delle piazzole causati da incisioni, graffi o altre condizioni possono precludere la bontà del prodotto. Le finiture di alcuni circuiti stampati e di conduttori hanno diverse caratteristiche di bagnabilità e possono mostrare una bagnatura con lega solamente su superfici specifiche. In queste circostanze, il metallo di base e le finiture superficiali esposte devono essere considerate normali, a condizione che il livello di bagnatura raggiunto sulle superfici dei giunti di saldatura sia accettabile.

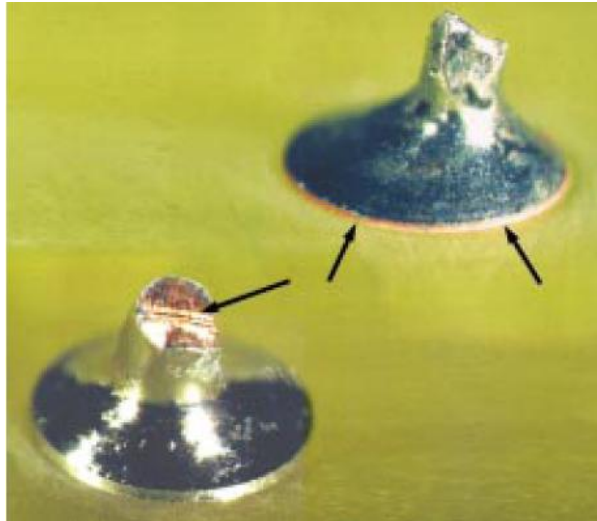


Figura 3.8: Metallo di base esposto, accettabile.

- Metallo di base esposto su: bordi verticali dei conduttori, estremità tagòiata dei reofori dei componenti o dei fili, piazzole finite con protettivo organico di saldatura.
- Finiture superficiali esposte che non sono interessate dal giunto di saldatura richiesto

3.3.3 Anomalie di saldatura, forellini/soffiature



Figura 3.9: soffiatura accettabile

- Soffiature



Figura 3.10: forellino accettabile

- Fori capillari

Viene considerato difettoso quando le saldature sono ridotte oltre il minimo richiesto a causa di soffiature, fori capillari, ecc.

3.3.4 Anomalie della saldatura, rifusione della pasta saldante

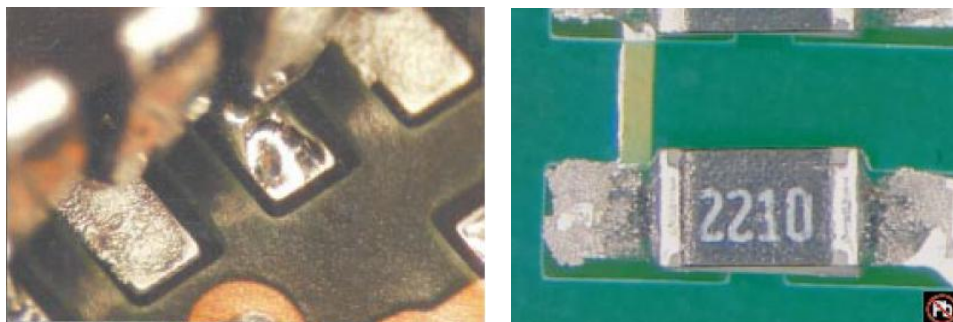


Figura 3.11: rifusione incomplete della pasta saldante, difettoso

La figura 3.11 mostra due saldature difettose dovute alla rifusione della pasta saldante.

3.3.5 Anomalie nella saldatura, non bagnatura



Figura 3.12 : scarsa bagnatura, difettoso per entrambe le figure

- Non c'è bagnatura di lega saldante sulla piazzola o sulla terminazione dove la lega è richiesta.
- La copertura della lega non soddisfa i requisiti per il tipo di terminazione.

3.3.6 Anomalie nella saldatura, dewetting

Il dewetting, viene definito da questi standard come una condizione conseguente alla recessione della lega fusa dalla superficie con cui viene in contatto, lasciando depositati cumuli irregolari di lega, separati da zone ricoperte solamente da un sottile strato di lega e con metallo base o finitura superficiale non esposta.



Figura 3.13: dewetting, difettoso

3.3.7 Anomalie nella saldatura, lega in eccesso, sfere di saldatura, ponti di saldatura

Le sfere di saldatura sono sferette di lega che rimangono dopo il processo di saldatura. Le solder fines sono microsfeere presenti nella pasta saldante con dimensioni tipiche del metallo con cui è composta il tipo di pasta usata e vengono spruzzate attorno alla connessione durante il processo di rifusione.

Target

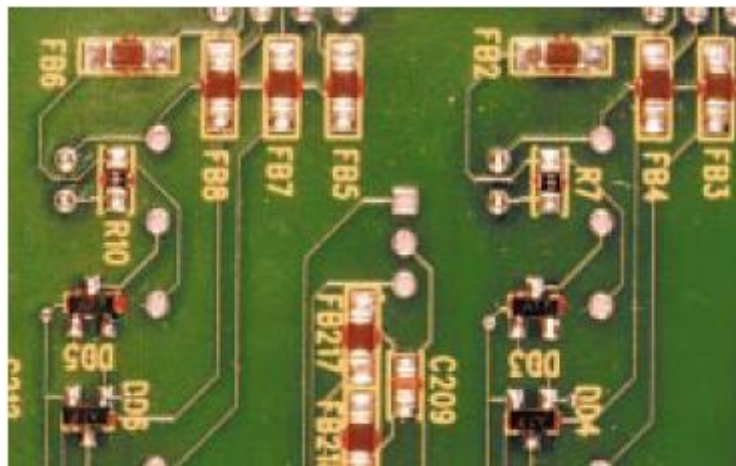


Figura 3.13: target, nessuna impurità da lega in eccesso

- Target: nessuna presenza di sfere di saldatura su circuito assemblato
- Nessuna presenza di ponti di saldatura tra due reofori adiacenti

Accettabile

- Le sfere di lega sono intrappolate/incapsulate e non violano la distanza minima d'isolamento. Intrappolate/incapsulate indica che le sferette non si sposteranno da tale posizione durante il funzionamento dell'apparato.

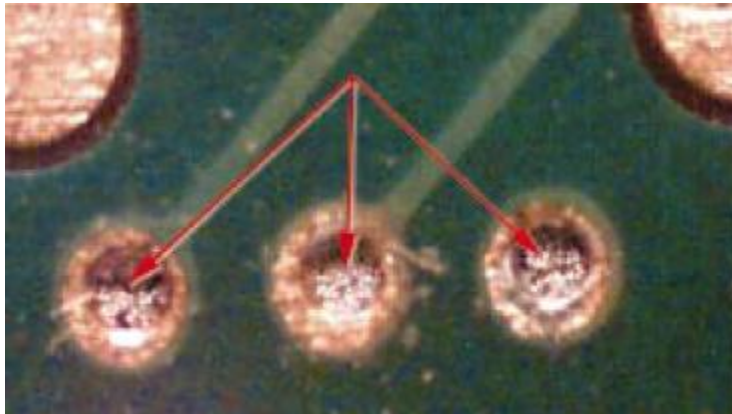


Figura 3.14: accettabile

Difettoso

- Le sferette di lega violano l'isolamento minimo
- Le sfere di lega non sono intrappolate in residui, o incapsulate nel conformal coating



Figura 3.15 sfere di saldatura, difettoso



Figura 3.16: ponti di saldatura, difettoso

3.3.8 Anomalie nella saldatura, saldatura mosca

Le saldature mosse mostrano delle linee di sforzo sulla propria superficie, derivanti dal movimento nella connessione.

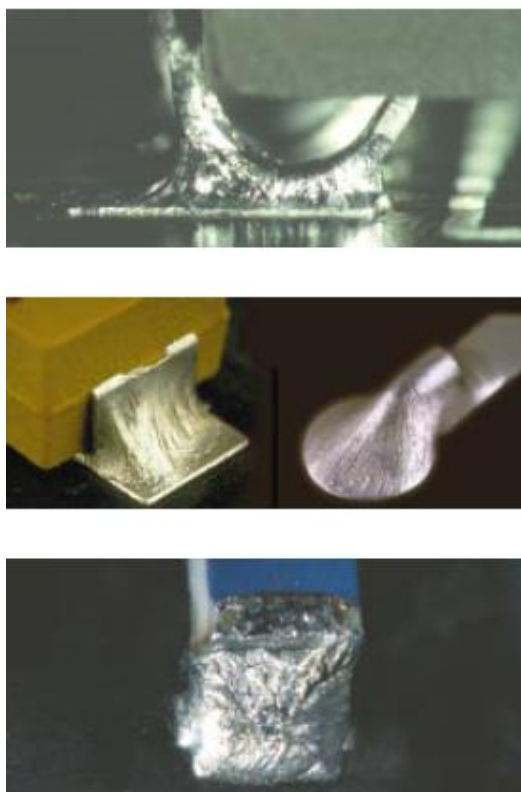


Figura 3.17: esempi di saldature mosse, difettose

3.4 Saldatura dei fori metallizzati

Target



Figura 3.18: target

- Nessuna cavità o imperfezione superficiale
- Sia il reoforo che la piazzola risultano ben bagnate
- Il reoforo è individuabile (presenza del “testimone”)
- Il filetto di saldatura è al 100% attorno al reoforo
- La lega comprende il reoforo e si assottiglia su un lato della piazzola/connettore

Accettabile

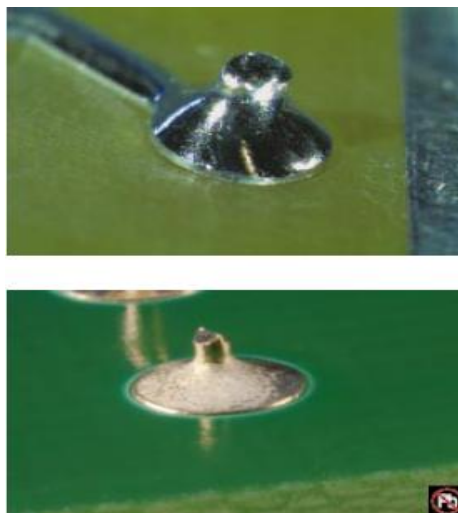


Figura 3.19: accettabile

- Il reoforo si distingue nella lega

Didettoso



Figura 3.20: difettoso

- Il reoforo non si distingue
- Testimone mancante
- Reoforo o piazzola non bagnati dalla lega

3.5 Saldatura, risalita verticale

Target

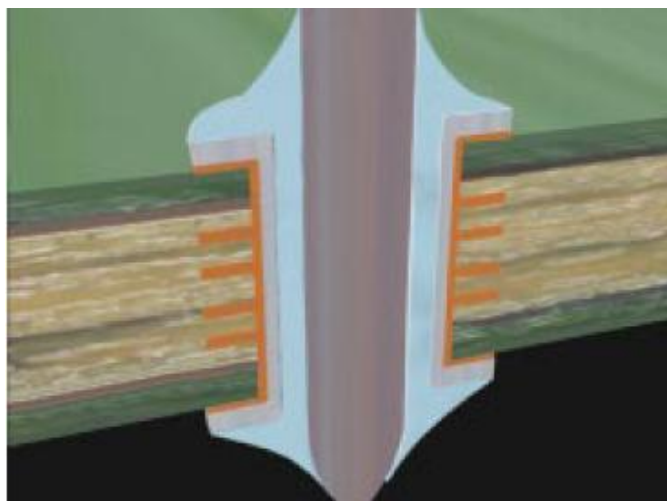


Figura 3.21: target, risalita del 100%

- La risalita è del 100%

Accettabile

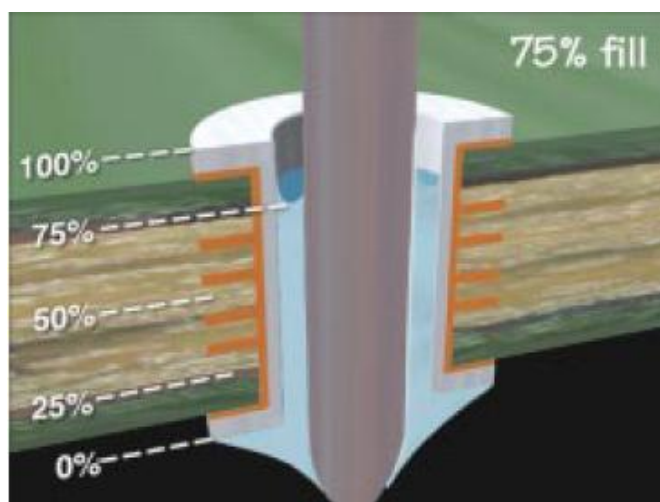


Figura 3.22: accettabile, risalita è almeno del 75%

- La risalita è almeno del 75%, è consentita una depressione/cavità del 25% comprendente sia il lato secondario che quello primario.

3.6 Saldatura, lato primario, reoforo ed interno foro

Target



Figura 3.23: target

- Bagnatura di 360 gradi presente sia sul reoforo che all'interno del foro

Accettabile

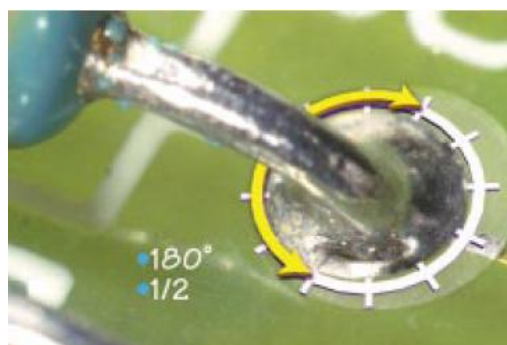


Figura 3.24: accettabile

- Bagnatura minima di 180 gradi presente sia sul reoforo che all'interno del foro

Difettoso

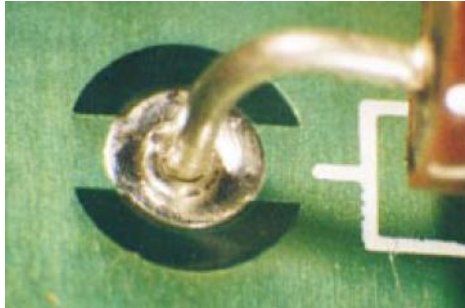


Figura 3.25: difettoso

- Bagnatura inferiore a 180 gradi sul reoforo e all'interno del foro

3.7 Conformal coating

Il conformal coating deve essere trasparente, di colore e consistenza uniforme e coprire uniformemente il circuito stampato ed i componenti. La distribuzione uniforme dipende parzialmente dal metodo usato per l'applicazione e può influire sull'apparenza visiva e sulla copertura degli spigoli.

Target

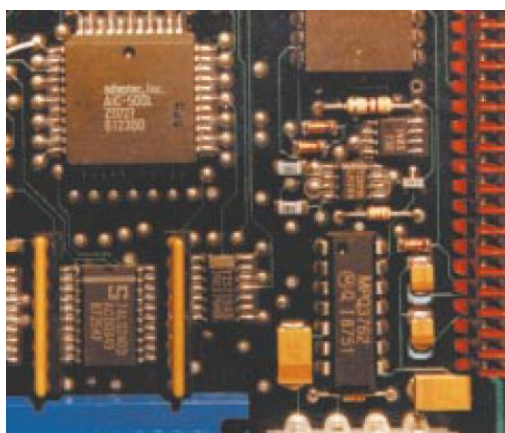


Figura 3.26: target

- Nessuna perdita di adesione

- Nessuno spazio vuoto o bolle
- No dewetting, spelature, corrugamenti, rotture, crateri
- La copertura non racchiude materiale estraneo
- Completamente polimerizzato ed uniforme

Accettabile

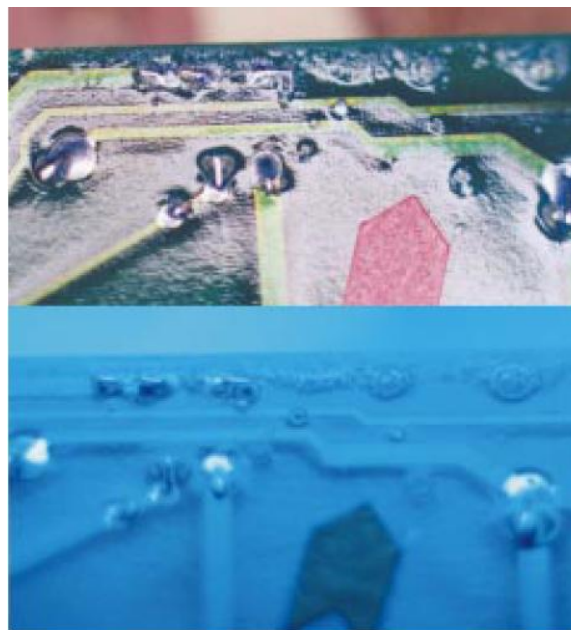


Figura 3.27: accettabile

- Completamente polimerizzato ed omogeneo
- La copertura è presente solo dove è richiesta
- Perdita di adesione nella zona adiacente alla copertura
- I materiali estranei non violano l'isolamento elettrico minimo tra componenti, piazzole o superfici conduttive
- La copertura è sottile ma, sia i componenti che i bordi dei dispositivi, sono ancora ricoperti

Difettoso



Figura 3.28: difettoso

- La copertura non è polimerizzata (mostra appiccicosità)
- La copertura non è presente dov'è richiesta
- La copertura si trova sulle zone che devono rimanere prive
- Materiale estraneo che fa da ponte tra superfici conduttive, o che violi l'isolamento minimo tra componenti.

CAPITOLO 4

AFFIDABILITA' IN CAREL

Sommario

4.1 Presentazione dati e guasti.....	73
4.2 Presentazione dati ritorni da campo.....	76
4.3 Analisi dei guasti	78
4.3.1 Guasti "F" ed "A"	78
4.3.2 Guasto "B"	80
4.3.3 Conclusioni sull'analisi dei guasti	85
4.4 Proposte di miglioramento	86
4.4.1 Effetti teorici delle proposte di miglioramento.....	86
4.4.2 Verifica delle proposte di miglioramento	87

Introduzione

In questo capitolo, verrà presentata la prima parte del lavoro svolto presso l'azienda CAREL Industries. Per motivi di riservatezza dei dati, non verranno riportati i nomi dei componenti guasti e si cercherà di dare una descrizione generale del guasto, che sia adattabile ad ogni altra azienda elettronica. Questo capitolo sarà suddiviso nel seguente modo: nella prima parte saranno presentati i dati e guasti raccolti nei mesi di stage, la seconda parte presenterà un'analisi dei guasti rilevati, ovviamente sarà un'analisi del tutto generale per motivi di riservatezza come citato prima, ed infine nell'ultima parte saranno proposte delle soluzioni di miglioramento e verrà valutato, in modo generale, l'impatto che esse avranno nel flusso di produzione.

L'organizzazione del flusso produttivo in CAREL rispecchia quanto detto nel capitolo due, ovvero i passaggi fondamentali sono:

- Processo di assemblaggio SMD
- Processo di assemblaggio PTH
- Test in circuit
- Eventuale burn-in
- Test funzionale
- Eventuale deposito del coating

Ricordiamo che gli obiettivi del lavoro svolto sono di migliorare costi e tempi del flusso di produzione, senza perdere in affidabilità. Per perseguirli, si sceglie di intervenire su quei processi che creano minor valore aggiunto ai prodotti dal punto di vista del

cliente finale. Dei cinque processi che compongono il flusso di produzione, quello che ne introduce di meno è il burn-in. Ricordiamo che questa fase induce un invecchiamento accelerato del prodotto, e quindi evidenzia quei difetti (mortalità infantile) che altrimenti il cliente finale riscontrerebbe nei primi mesi operativi, evitando così costi di riparazione, e conseguente perdita d'immagine dell'azienda.

4.1 Presentazione dati e guasti

I dati collezionati provengono dai rapporti di controllo e collaudo finale dei semilavorati provenienti dal burn-in. I dati sono stati raccolti nella tabella 4.1, e sono stati rapportati al numero totale di semilavorati collaudati (seconda colonna) e al numero totale di guasti raccolti (terza colonna).

Tabella 4.1: raccolta dati

Tipo di errore	% sui prodotti	% sui guasti
A	%A	17.5
B	%B	13.75
C	%C	12.5
D	%D	11.25
E	%E	10
F	%F	8.75
G	%G	8.75
H	%H	8.75
I	%I	2.5
L	%L	2.5
M	%M	1.25
N	%N	1.25
O	%O	1.25

Come già detto nell'introduzione, non sono stati riportati i nomi dei guasti (prima colonna tabella 4.1) e neppure l'influenza percentuale dei singoli guasti sul numero totale di semilavorati collaudati (seconda colonna tabella 4.1). Anche le date dei singoli

guasti non saranno riportate, in quanto questi sono equamente distribuiti nel tempo.

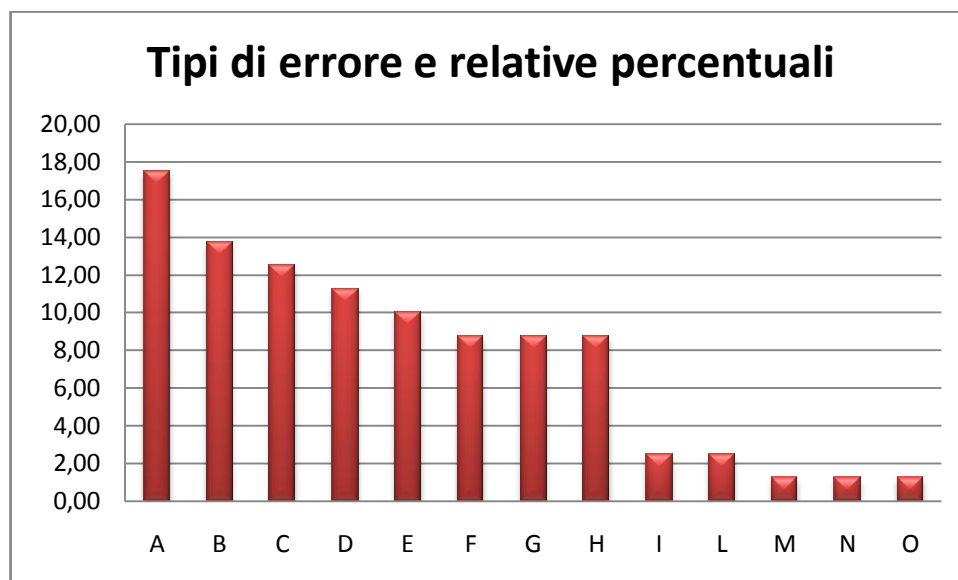


Figura 4.1: istogramma relativo alla tabella 4.1

La figura 4.1 mostra in un istogramma i dati della terza colonna della tabella 4.1, mentre la figura 4.2 mostra l'andamento mensile della percentuale di guasto confrontata con la media totale dei guasti, tale andamento è stato calcolato aggiornando mensilmente la media dei guasti.

I guasti rilevati sono stati stratificati in base alla correlazione tra tipo di errore e l'influenza che ha il burn-in su questi, ottenendo il grafico di figura 4.3. Questa figura evidenzia come ci siano guasti che il burn-in riesce ad evidenziare e altri che non riesce. La diversificazione dei guasti sull'influenza del burn-in è stata fatta sulla tipologia del guasto, ovvero tutti i guasti di componenti, saldature mancanti, mal posizionamenti non evidenti e simili sono stati attribuiti all'invecchiamento, gli altri no.

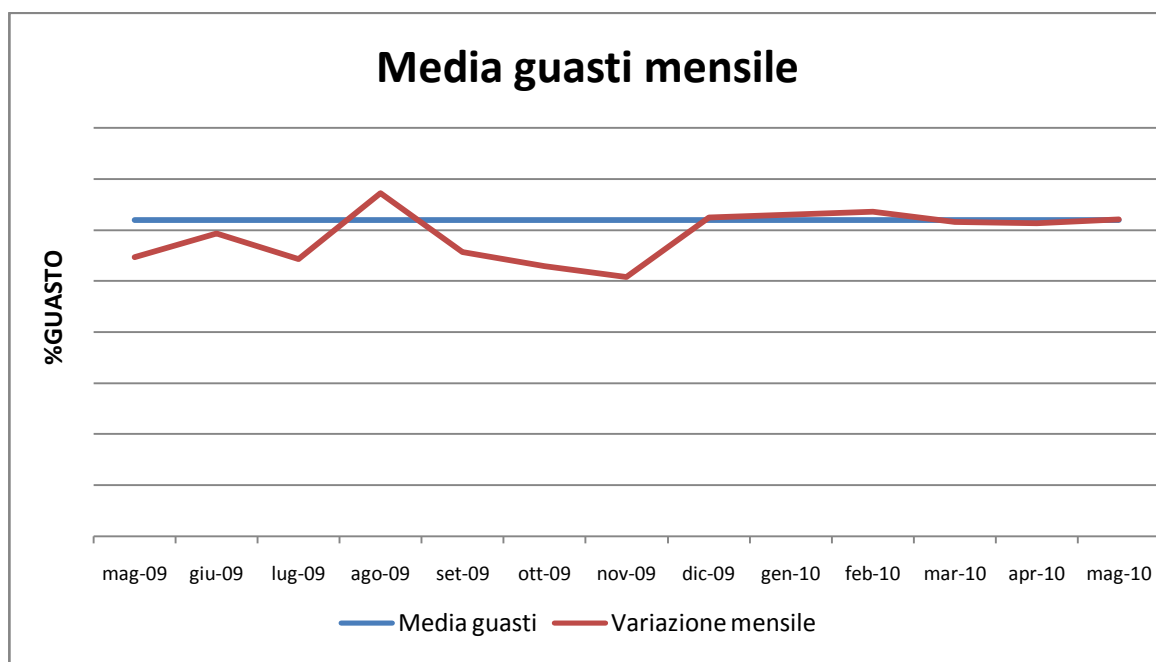


Figura 4.2: media guasti

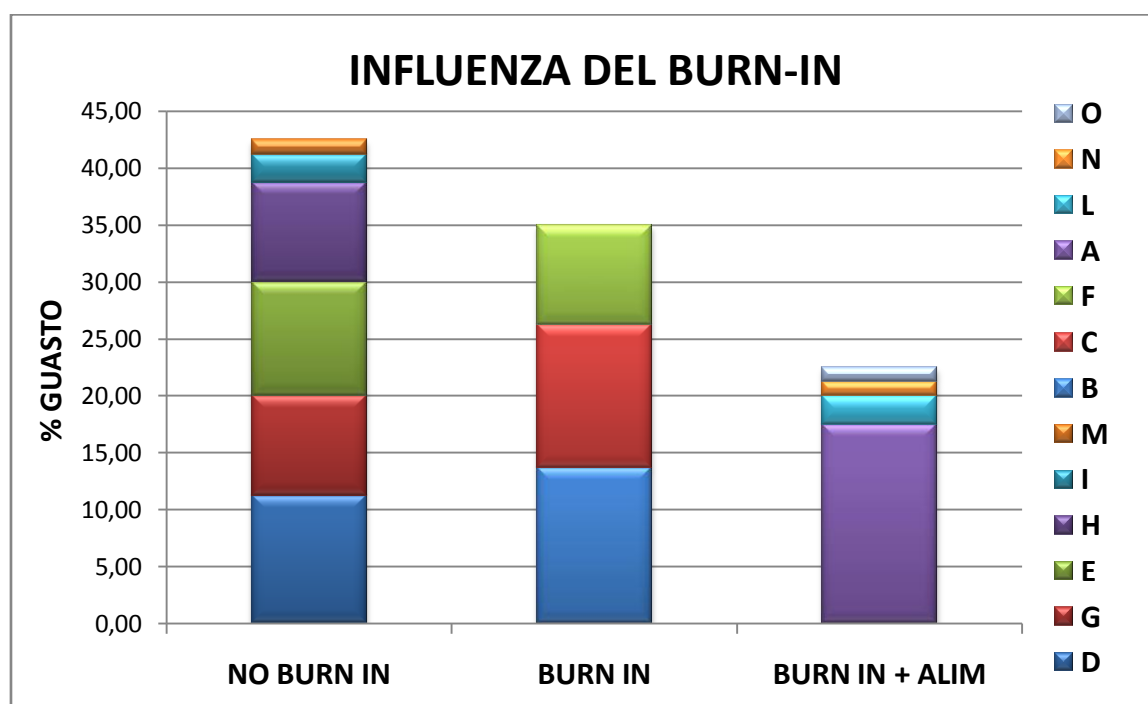


Figura 4.3: correlazione tra errori e burn-in

Tipici guasti che non sono interessati dal burn-in possono essere: mancanza del componente, errore di montaggio, false diagnosi ecc. I guasti interessati dal burn-in sono stati ulteriormente stratificati sull'influenza dell'alimentazione sull'errore.

La tipologia di guasti non dovuta a burn-in copre più del 40% del totale, e quindi in prima approssimazione, se non si facesse il burn-in, l'aumento dei ritorni in garanzia sarebbe da attribuire solo ai guasti della seconda e terza colonna della figura 4.3.

4.2 Presentazione dati ritorni da campo

L'analisi dei dati provenienti dai ritorni dal campo, è stata svolta sul biennio 2008-2009 considerando i prodotti venduti nuovi nel 2008. I dati sono stati diversificati in "guasti CAREL" dove la rottura è imputabile ad un difetto di fabbricazione, vita operativa di un componente, ecc, mentre i prodotti rientrati in riparazione ma per incuria utente e simili non sono stati considerati come guasti in questa analisi.

Dai ritorni dal campo è stato costruito il grafico del tasso di guasto istantaneo, ovvero la funzione che mappa la curva a vasca da bagno. Ricordiamo che il tasso di guasto istantaneo è calcolabile come:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\# \text{ guasti}}{\Delta t} * \frac{1}{\# \text{ funzionanti}}$$

Dove:

- $f(t)$ rappresenta la densità di probabilità di guasto
- $R(t)$ è la funzione affidabilità

- $\# \text{ guasti}$ indica il numero di prodotti che si sono guastati al tempo t
- Δt è l'intervallo temporale che occorre tra due rilevazioni di guasti
- $\# \text{ funzionanti}$ è il numero di prodotti funzionanti al tempo t .

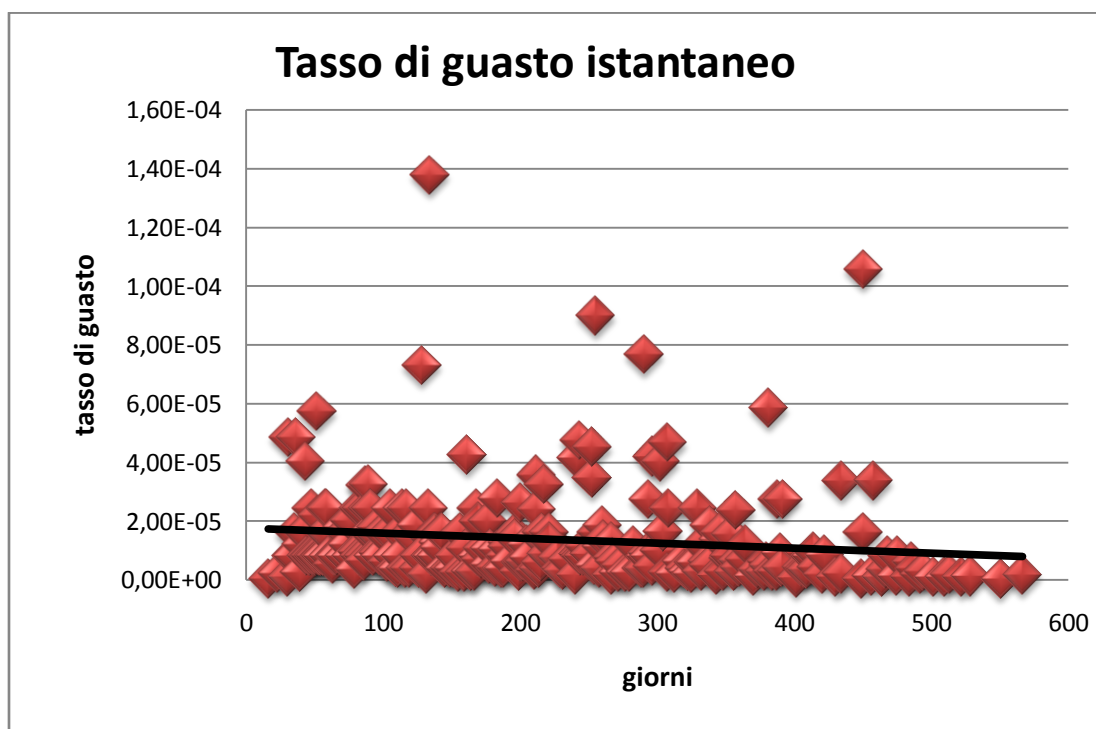


Figura 4.4: tasso di guasto istantaneo

Il grafico del tasso di guasto istantaneo mostra un'alinea di tendenza sostanzialmente piatta, e confrontando questo grafico con quello di figura 2.12, possiamo dire che i prodotti immessi nel mercato sono nella seconda regione della curva a vasca da bagno, o vi sono appena entrati. Ricordiamo che la seconda regione indica i guasti casuali, ed è in questa regione

che ogni azienda vorrebbe i propri prodotti al momento della vendita.

Dato che i ritorni da campo non hanno evidenziato particolari guasti, si decide di studiare con attenzione la tipologie di guasti più numerose ed evidenziate dal burn-in, ovvero “B”, “F” e “A”.

4.3 Analisi dei guasti

Per coadiuvare quest’analisi è stato eseguito un lancio in produzione di venti pezzi, ai quali non è stato fatto il burn-in “classico”, ma “intermittente”, cioè ogni tre ore di burn-in le schede sono state verificate al test di controllo e collaudo finale ed in laboratorio. Questo metodo permette, in caso di guasto, di sapere il tempo necessario al ciclo d’invecchiamento di provocarlo e quindi di ottimizzare il tempo in cui le schede transitano in burn-in. Delle venti schede, dieci sono state sottoposte a burn-in senza alimentazione, mentre le altre sono state alimentate. Questo permette di valutare le differenze tra i due modi di eseguire l’invecchiamento.

4.3.1 Guasti “F” ed “A”

Dato che per motivi di riservatezza non si è potuto riportare foto, tipologia del componente, o quant’altro, questi due errori relativi, relativi a componenti, saranno studiati assieme, e saranno riportati solo i punti essenziali.

Il componente “F” viene verificato sia in fase di test in-circuit che in fase di test funzionale, e quindi dato che tra questi due test intercorre il burn-in è possibile intuire se il componente si è guastato a causa del burn-in o meno. Al contrario il componente “A”, che è composto da due tipologie di componenti che svolgono la stessa funzione, viene verificato solo in fase di test

funzionale, e quindi non si può dire al 100% che la causa di guasto è il burn-in.

Si riporta ora, per facilitare l'analisi di guasto, il diagramma causa effetto o di Ishikawa:

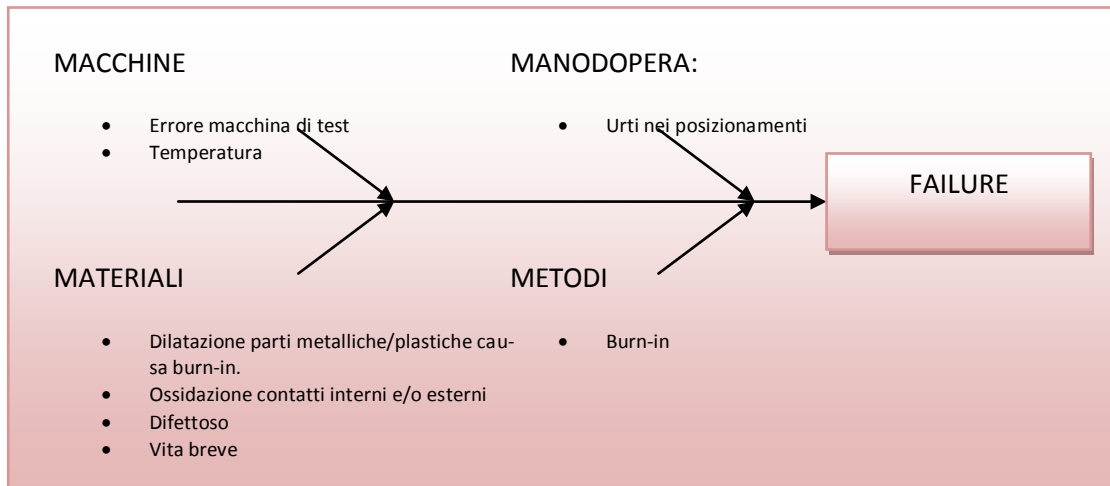


Figura 4.6: diagramma di ishikawa

Dei 14 componenti “F” analizzati in laboratorio, sette erano effettivamente guasti, mentre i rimanenti erano perfettamente funzionanti. I 7 guasti hanno mostrato degradazione dovuta anche allo stress termico del burn-in, infatti i componenti probabilmente presentavano già in fase di assemblaggio un “inizio” di errore, ed il burn-in lo ha evidenziato. È possibile dire con certezza che la causa di guasto è il burn-in, perché come già detto sopra, questo componente viene analizzato anche in fase di test in-circuit, cioè prima del burn-in. Delle venti schede sottoposte a prova vita, nessuna ha evidenziato problemi di questo tipo.

Guasti simili a quelli rilevati, sono stati riscontrati dalla VTT Industrial System, confermando cause e modalità supposte in azienda.

Il componente “A”, come detto prima viene verificato solo in fase di test funzionale, e quindi non è possibile dire con certezza ora se la causa di guasto è il burn-in o meno. Degli 8 componenti guasti trovati, 3 erano effettivamente guasti, gli altri no, e questo fa pensare ad errori temporanei della macchina di test o dello stesso componente (tolleranza, effetto della temperatura, ecc). Sono stati analizzati solo i componenti guasti appartenenti alla tipologia più frequente per questo tipo di dispositivo.

4.3.2 Guasto “B”

Questa tipologia di guasto non è dovuta alla rottura di un componente, ma ad un mal posizionamento che viene riscontrato in fase di test funzionale ma non in fase di test in.circuit, e quindi la causa di questo mal funzionamento può essere il burn-in. Anche per questa tipologia di guasto è stato costruito il diagramma causa effetto.

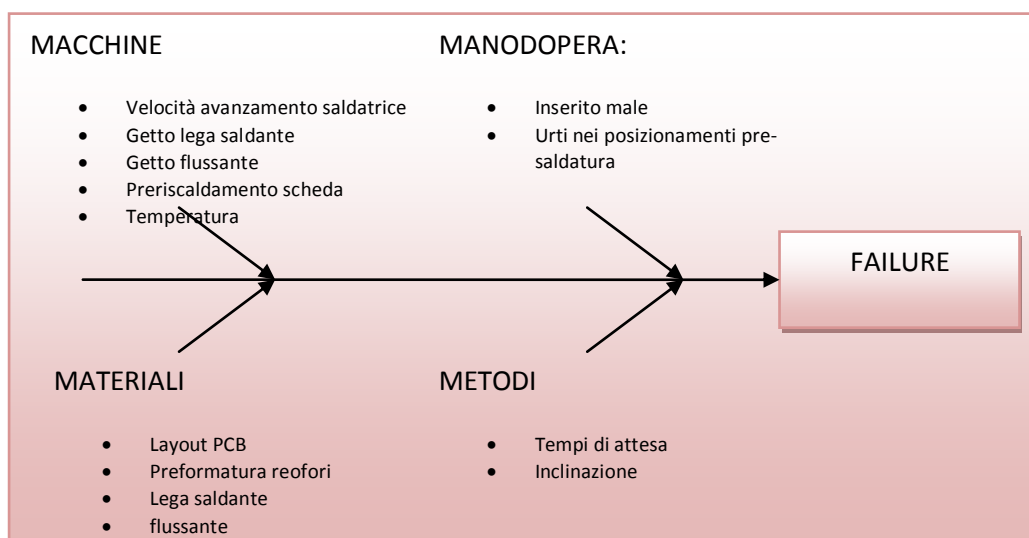


Figura 4.7 diagramma di Ishikawa guasto “I”

Gli errori riscontrati si sono sempre manifestati nel seguente modo: il reoforo destro del componente non era collegato/saldato alla PCB, e la lega saldante era risalita fino a metà circa del foro metallizzato, come visibile dalle seguenti figure.

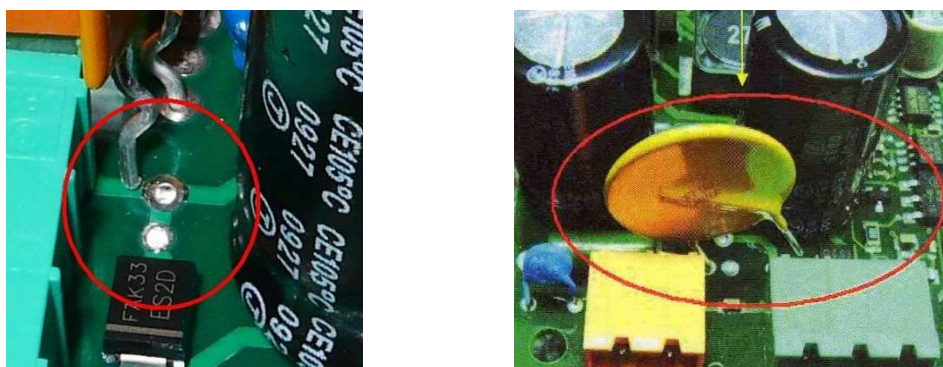


Figura 4.8: mal posizionamento relativo al guasto "I"

La figura 4.8 mostra il problema, le due foto sono state scattate a schede segnalate guaste in fase di test funzionale. Due delle venti schede ausiliare hanno presentato il medesimo errore, ma a differenza delle altre, era già stato notato qualcosa di anomalo durante l'ispezione delle schede prima di iniziare il test vita. Su queste due schede infatti, non era presente al lato saldatura il così detto testimone e la risalita di lega saldante sul reoforo non era completa.

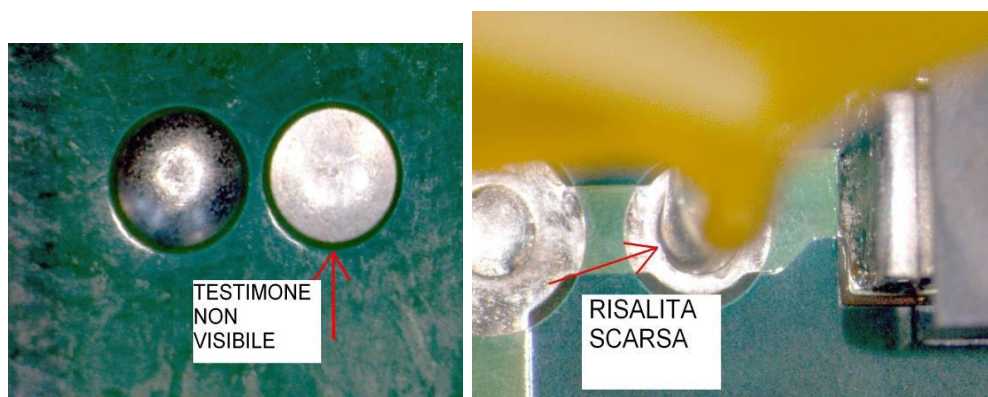


Figura 4.9: "sintomi" di guasto "B"

Le foto di figura 4.9 sono state scattate prima di iniziare il test vita. Dopo tre ore di burn-in, è stato sufficiente collegare l'alimentazione, durante il successivo test in laboratorio, per provocare il distacco del reoforo. Le schede sono state ispezionate al microscopio e sono stati fotografati i particolari più importanti, di seguito le foto della prima scheda.

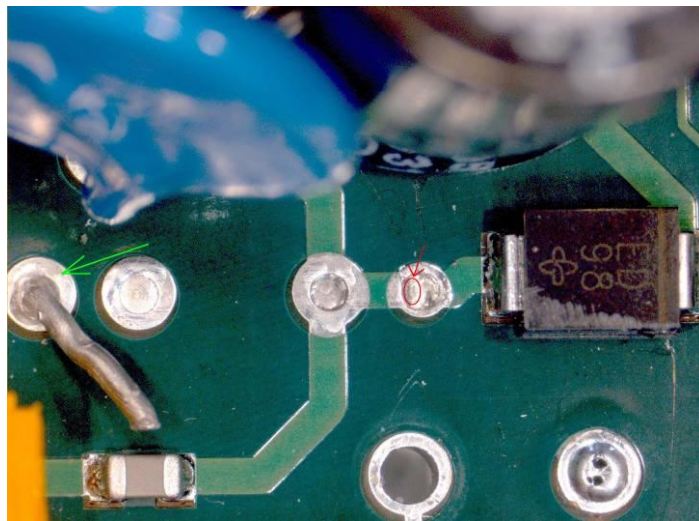


Figura 4.10: lato componenti prima scheda

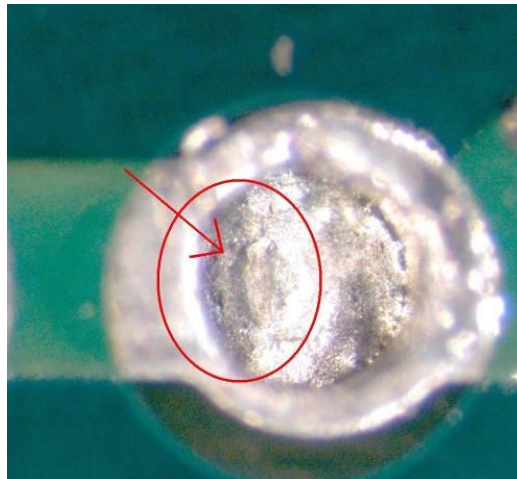


Figura 4.11: dettaglio piazzola destra

La prima cosa che salta subito all'occhio, valutando le figure 4.9,10,11, è la differenza tra la risalita di lega saldante dei

due reofori. Inoltre la figura 4.11 mostra come il reoforo sia stato saldato solo su una piccola superficie.

Per la seconda scheda con questo tipo di errore le foto scattate sono le seguenti:

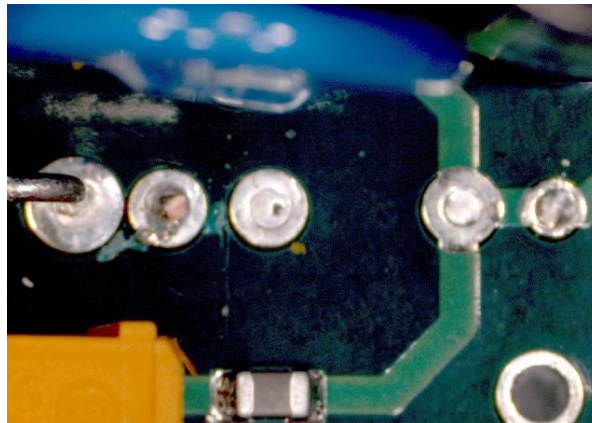


Figura 4.12: lato componenti seconda scheda

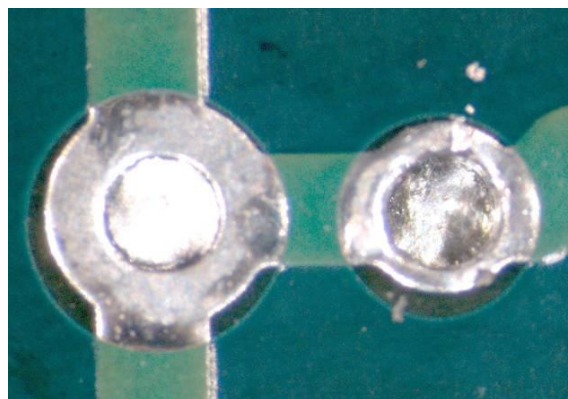


Figura 4.13: dettaglio piazzola destra

Anche in questo caso, confrontando queste due figure con la 4.9, risulta subito evidente la differenza di risalita di lega saldante tra i due reofori.

Per capire se la differenza di risalita di lega saldante sia stato un fatto isolato per queste due schede o è la prassi per

questo componente, sono state analizzate al microscopio anche le rimanenti 18 schede, e tutte quante hanno mostrato questa differenza di risalita tra i due reofori.

Oltre alla differenza di risalita, si è subito notato, come le piazzole al lato componenti siano molto diverse, infatti quella sinistra è più grande di quella destra.

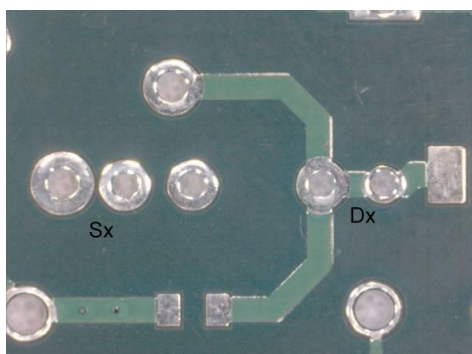


Figura 4.14: layout lato componenti

Questo layout comporta la differenza riscontrata tra la saldatura del reoforo destro e quello sinistro, infatti la piazzola più piccola non riesce ad attirare la stessa quantità di lega saldatante di una piazzola maggiore, e questo comporta una risalita di stagno lungo il foro inferiore rispetto all'altra piazzola.

Per avere maggiori risposte a questo problema si è scelto di assemblare 10 PCB con il solo componente I, l'assemblaggio non è stato fatto dagli operatori per poter verificare di persona cosa potrebbe provocare il guasto, e seguire con attenzione la fase di saldatura. Delle dieci, solo quelle cui il componente era stato mal posizionato volontariamente hanno manifestato il modo di guasto cercato, mentre le altre otto, dove il componente è stato inserito correttamente, non hanno manifestato problemi. Anzi, se il componente è ben inserito, il successivo ciclo

di lavoro non riesce a spostarlo dalla sua sede. Queste ultime informazioni portano alla seguente conclusione: i guasti rinvenuti sono dovuti a mal posizionamenti da parte degli operatori, e non dal flusso di produzione seguente il posizionamento (pulitura lato saldature e deposito flussante, riscaldamento scheda e saldatura). Questa tipologia di errore è evidenziata dal burn-in, ma non bisogna trascurare gli stress meccanici cui è sottoposta la scheda durante il ciclo di produzione, infatti la saldatura quando il componente è mal posizionato è molto debole, e delle vibrazioni possono provocarne la rottura.

4.3.3 Conclusioni sull'analisi dei guasti

Le informazioni ottenute dall'analisi dei ritorni dal campo unite a quelle fornite dall'analisi fisica dei componenti evidenziano come una delle cause di guasto, se non la principale, sia il burn-in. Infatti, essendo piatta la curva del tasso di guasto istantaneo, s'intuisce che i prodotti venduti appartengono alla seconda regione della curva a vasca da bagno, a conferma di questo fatto vi è anche la mancanza di modi di guasto dominanti nei ritorni da campo.

È possibile affermare con certezza che il burn-in sia la causa di guasto dei componenti F non funzionanti in fase di ultimo test, in quanto questi sono verificati anche prima di eseguire l'invecchiamento. Per i dispositivi A non è possibile dire la stessa cosa, in quanto il primo test non copre questo componente, però il numero esiguo di schede guaste a causa di questo componente rientrate in azienda per esser riparate, fa pensare al burn-in come una delle tipologie di guasto principali per questo integrato.

4.4 Proposte di miglioramento

Le precedenti analisi hanno evidenziato, come gli errori dovuti ai componenti siano riconducibili a due tipologie di elementi: A e F. La prima proposta di miglioramento è la seguente:

- Effettuare il burn-in ai componenti “A” e “F” prima di assemblarli, e non all’intero prodotto.

Per quanto riguarda il problema del mal posizionamento la soluzione proposta è la seguente:

- Modificare la preformatura dei reofori dei componenti ad alto profilo, introducendo una preformatura a scatto.

Per sapere il tempo cui saranno sottoposti A ed F, al burn-in si è misurata la temperatura di questi componenti durante l’invecchiamento sia quando sono assemblati nelle schede e sia quando sono nei loro contenitori. Le temperature nei contenitori sono le medesime delle camera del burn-in, mentre la temperatura rilevata sul componente F è superiore a quella del burn-in di 2°C e quella del componente A di 6°C. Questo comporta che i componenti sosterranno nella camera d’invecchiamento un numero maggiore di giorni rispetto al normale invecchiamento.

4.4.1 Effetti teorici delle proposte di miglioramento

Queste proposte di miglioramento comportano l’inevitabile rischio di introdurre nel mercato componenti difettosi, in quanto togliendo il burn-in non si evidenzieranno più alcune tipologie di guasti. Mediamente saranno introdotti nel mercato d % di prodotti difettosi, suddivisi nel seguente modo:

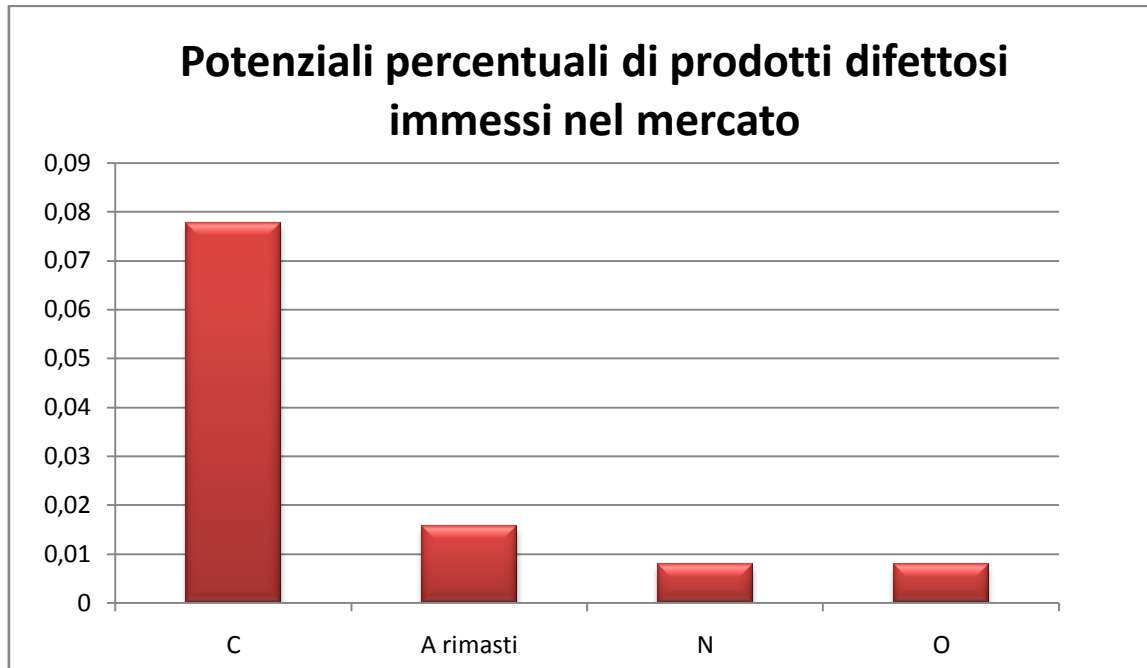


Figura 4.15

Il grafico di figura 4.15 mostra le percentuali di prodotti potenzialmente guasti immessi nel mercato. Ovviamente nelle fasi di test ci si aspetta di trovare le rimanenti percentuali di guasto.

4.4.2 Verifica delle proposte di miglioramento

La verifica delle proposte di miglioramento sarà fatta in un primo tempo su una produzione limitata di schede, e se questa non fornirà alcun dato utile, si provvederà ad introdurre per un periodo di tempo limitato, due mesi circa, le proposte di miglioramento nell'attuale flusso di produzione.

Le schede prodotte per questo test, non hanno mostrato guasti neppure dopo ripetuti cicli termici del burn-in, e questo induce ad utilizzare, come detto prima, le proposte di miglioramento in produzione per circa due mesi per permettere di raccogliere dati per validare queste proposte.



Figura 4.16: PDCA delle proposte di miglioramento

Il grafico di figura 4.16 mostra il PDCA di attuazione delle proposte di miglioramento.

Nei due mesi di raccolta dati, sono state prodotte 1800 schede, per un totale di 1500 componenti “A” e 20000 “F”. Al test in-circuit, cioè prima del burn-in sono stati trovati 3 compo-

nenti “F” guasti, e al test funzionale nessun “F” ma ben 76 “A”. Il seguente istogramma illustra tutti i guasti rinvenuti, tra in-circuit per “F” e funzionale per gli altri.

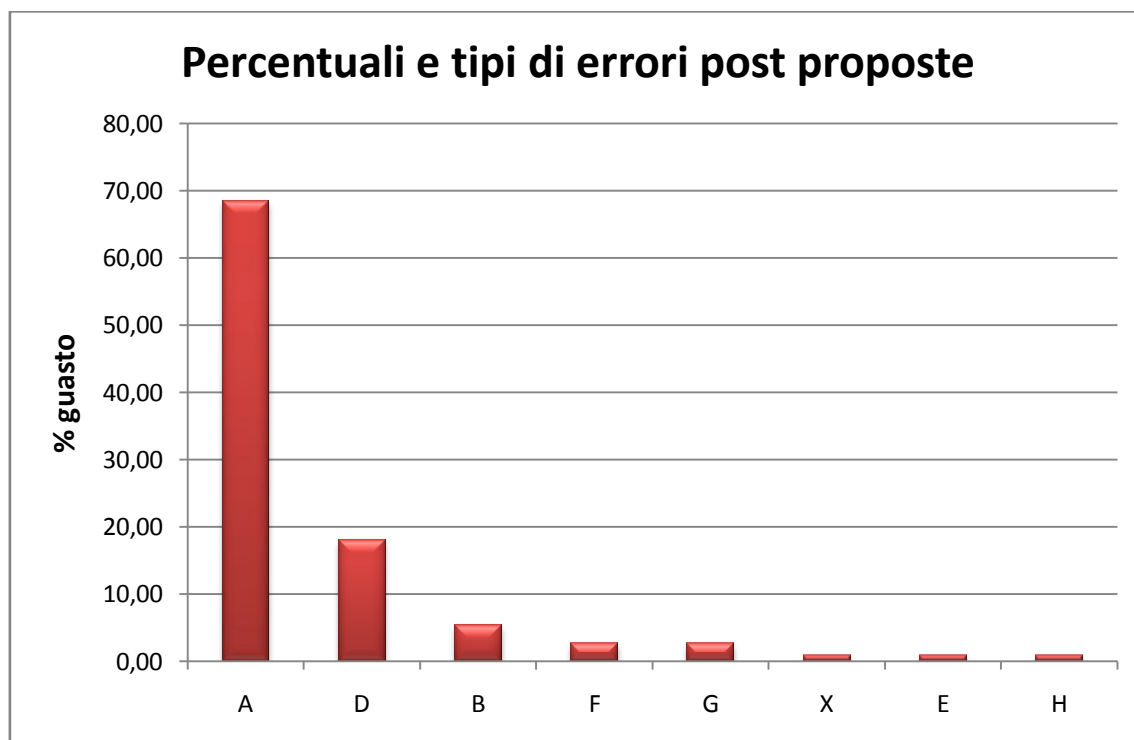


Figura 4.17: guasti rilevati dopo l'introduzione delle proposte

Dove le lettere indicano lo stesso guasto riportato negli altri grafici, eccezion fatta per il guasto “X”, in quanto prima non presente. Questo guasto prima non era presente, ed è semplicemente un componente, un led, che si è guastato.

Anche in questo caso si sono suddivisi i guasti in base all'influenza che il burn-in ha su di essi. Ovviamente, in questo caso, bisogna considerare anche la presenza del burn-in effettuato ai dispositivi “A” ed “F” prima di esser assemblati, e quindi nel grafico che mostra l'effetto che l'annealing termico ha sui componenti, è stata inserita anche una colonna contemplante questo “doppio” burn-in. Sotto questa colonna potranno esser

presenti solo i componenti che hanno subito un doppio invecchiamento, cioè “A” ed “F”.

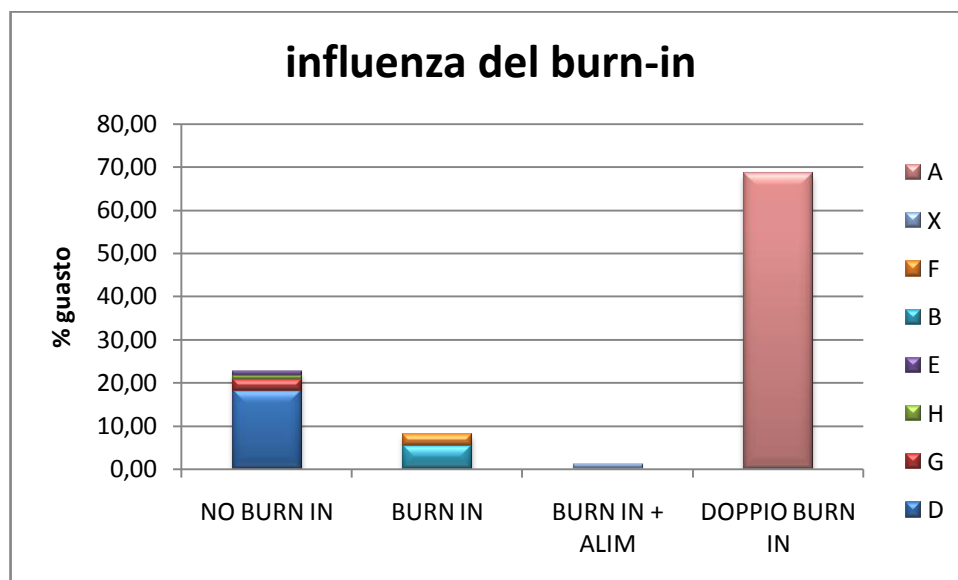


Figura 4.18: influenza del burn-in sui guasti post proposte

I 3 “F” sono stati verificati in laboratorio e mostrano effettivamente di esser guasti, mentre i componenti “A” sono stati più volte controllati al test finale, effettuandolo almeno tre volte alla scheda in momenti diversi, prima di esser dichiarati fuori specifica.

L’elevato numero di “A” fuori specifica fa pensare che i normali giorni di burn-in cui sono sottoposte le schede nel normale flusso di produzione non siano sufficienti per evidenziare gran parte dei componenti difettosi, bensì solo una parte. Al contrario, un numero maggiore di giorni complessivi di burn-in, quelli canonici della scheda e quelli dei singoli componenti nella scatola, evidenziano la popolazione ad alto tasso di mortalità infantile.

Le percentuali che evidenziano i dispositivi “A” fuori specifica sono assai diverse, e questo è dovuto, come detto prima, al maggior numero di giorni complessivi di burn-in cui sono sottoposte le schede. Per quanto concerne i componenti “F”, bisogna sottolineare che non né sono stati trovati al test funzionale, ma solo al test in-circuit. Nonostante le percentuali Pre proposte e Post siano diverse di un ordine di grandezza, il fatto di non aver rilevato fallimenti al secondo controllo, unito all’enorme differenza della durata del tempo di raccolta dati (circa 11 mesi), indica che i giorni di temperamento termico effettuato ai componenti prima di essere assemblati, comporta effettivamente l’eliminazione dei componenti “F” ad alta mortalità infantile. Questo dato è confermato anche dalle foto effettuate agli “F” guasti post proposte, che evidenziano che le modalità di guasto trovate sono le stesse rilevate prima dell’applicazione delle proposte. Quindi essendoci le stesse modalità di guasto anche le cause molto probabilmente saranno le stesse, ovvero il burn-in unito allo stress termico subito in fase di saldatura.

Dai dati raccolti è possibile affermare che la proposta di miglioramento, effettuare il burn-in ai componenti “A” e “F” prima dell’assemblaggio, è corretta.

Ovviamente questo comporterebbe ad un calo dell’affidabilità dei prodotti, in quanto solo i due componenti citati subiranno il burn-in, e quindi eventuali difetti di mortalità infantile di altri componenti non potranno essere individuati.

CAPITOLO 5

VALUTAZIONE TIPI DI COATING

Sommario

5.1 apparato di test e campioni.....	94
5.2 Misure risultati	95

Introduzione

Oltre a valutare l'affidabilità dei prodotti, durante lo stage si è cercato di valutare l'efficacia del coating. Si è fatto questo perché l'attuale sistema di deposizione del coating, a pennello, richiede tempo, non garantisce protezione sul 100% della scheda e non è un lavoro eseguito "volentieri" dagli operatori, in quanto l'attuale resina di coating è tossica. L'attuale coating, che è un conformal coating, è stato valutato assieme ad un altro tipo di coating, che verrebbe dispensato per immersione automatizzando il processo, e garantendo protezione sul 100%

della scheda. Il test serve per stabilire se sia meglio usare un conformal coating dalle caratteristiche migliori su parte della scheda, o se sia meglio usare un coating dalle caratteristiche inferiori ma su tutta la scheda.

Il metodo di test, prevede la simulazione di un ambiente ostile, ad esempio quello marino, tramite camera a nebbia salina. Questo test è simile a quello previsto nella norma MIL-STD-883 e MIL-STD 810F con l'eccezione fatta che in questo caso il test sarà fatto per un periodo di tempo minore, circa 6 ore, e alimentando i prodotti. Ad intervalli, verrà tolta l'alimentazione ed effettuato un test di rigidità dielettrica, e sarà usato come parametro, l'esito di quest'ultimo test.

5.1 apparato di test e campioni

Come già accennato prima, il test prevede l'uso di una camera a nebbia salina. Non avendo CAREL questa attrezzatura, il test è stato svolto presso il CTR, gruppo Exova, di Limena. Le condizioni della camera per il test prevedono una temperatura di circa 35°C e una percentuale di sale nell'umidità iniettata nella camera del 5%. Le due tipologie di coating sono:

- Humiseal 1B73, resina acrilica, della HumiSeal
- EGC 1700, fluorofattico, della 3M

Il primo è un conformal coating, ed è marchiato UL, viene depositato mediante spennellatura. In questo modo però, non si riesce a coprire tutta la superficie, ma solo dov'è possibile arrivare con il pennello, e lo strato depositato varia tra un millimetro e qualche centinaio di micrometri. Il secondo non è un conformal coating, è marchiato UL e viene depositato per immersione. Tale sistema garantisce l'applicazione sull'intera superficie della

scheda, lo strato depositato è di 1 micrometro, e permette di immergere la scheda completa, anche dei morsetti, in quanto è sufficiente inserire i cavi di collegamento per rimuovere lo strato, e quindi dopo l'applicazione del coating i prodotti devono essere maneggiati con estrema cura.

I campioni utilizzati sono:

- 5 schede senza coating
- 5 schede con coating 1B73
- 5 schede con EGC 1700

Dopo aver inserito i campioni nella camera, si è aspettato 20 minuti prima di iniziare i test di rigidità per consentire alla nebbia salina di saturare l'ambiente, durante questi primi 20 minuti è stato verificato il corretto funzionamento dei campioni agendo sugli ingressi e controllando il relè di uscita. Tutti i campioni hanno funzionato correttamente.

I campioni durante la permanenza nella camera sono stati alimentati e sollecitati al fine di verificarne il corretto funzionamento (tramite delle resistenze si simuleranno gli ingressi e si andrà a sollecitare il relè di uscita e si verificherà il funzionamento sia tramite la spia luminosa sul display e sia mediante circuito esterno).

5.2 Misure risultati

La misura di rigidità dielettrica è stata fatta nel seguente modo: sono stati applicati 3300V ac tra ingressi SELV (bassa tensione) ed ingressi alta tensione per una durata di 20 secondi, e 550V ac tra i piedini di uscita (a relè non eccitato ovviamente) per una durata di 20 secondi, il valore massimo di cor-

rente ammesso è 0.3mA. La tensione applicata ha frequenza di 50 Hz, non devono esserci scariche flash o archi continui, sono ammesse scariche a bagliore senza caduta della tensione.

Tabella 5.1: risultati test nebbia salina

Campione	Tempo [minuti]	Esito HV-LV	Esito Linee vicine
1 No Res	20	Fail	Fail
2 No res	60	Fail	Fail
3 No res	45	Fail	Pass
4 No Res	50	Fail	Pass
5 No Res	80	Fail	Fail
6 1B73	30	Fail	Pass
7 1B73	65	Fail	Pass
8 1B73	55	Pass	Pass
9 1B73	90	Fail	Fail
10 1B73	100	Fail	Pass
11 3M	40	Pass	Pass
12 3M	110	Fail	Pass
13 3M	70	Pass	Pass
14 3M	120	Pass	Pass
15 3M	75	Pass	Pass

I test di rigidità dielettrica effettuati entro le due ore dall'inizio della nebulizzazione del composto salino hanno evidenziato come tutti i campioni non resinati non passino il test di rigidità dielettrica; solo un campione su 5 dei resinati 1B73 passa il test, mentre 4 campioni su 5 dei resinati 3M passano il test. I test sono stati compiuti seguendo il seguente ordine di schede: 1-6-11-3-4-8-2-7-13-15-5-9-10-12-14.

È importante notare che il test di rigidità dielettrica più critico sia quello HV-LV, ovvero tra ingressi ad alta tensione ed ingressi a bassa tensione. Infatti, tutti i campioni non resinati

non passano il test, in quanto non sono protetti minimamente né al lato saldature né al lato componenti. 4 su 5 dei resinati 1B73 non passa il test e questo è dovuto al fatto che il lato componenti non è ben protetto come il lato saldature. Mentre la copertura globale dei campioni 3M comporta che solo un campione su 5 non superi il test (è appena fuori specifica).

Il test di rigidità tra piste vicine evidenzia che due campioni su 5 dei non resinati passa il test, 4 su 5 dei resinati 1B73 passa il test e tutti i campioni 3M passano il test. Per i 5 non resinati questo può esser dovuto al fatto che la nebbia salina non è riuscita a penetrare e/o condensare efficacemente sotto la scheda (l'esiguo spessore tra scheda e plastica del contenitore funge da ostacolo), però al lato componenti non è presente alcuna protezione e questo comporta il fallimento del test.

I campioni sono stati lasciati altre due ore nella camera per vedere se si riesce ad evidenziare altri problemi. Dopo 4 ore complessive di nebbia salina tutti e 15 i campioni non passano il test di rigidità dielettrica. In particolare 4 campioni su 5 dei non resinati hanno evidenziato anche problemi di altro tipo, come visualizzazione errata della temperatura sonda, cortocircuito contatti relè e campione spento. Due su 5 dei resinati 1B73 e tre su 5 dei resinati 3M hanno evidenziato i precedenti problemi.

Si riportano ora, le immagini più significative dei campioni.



Figura 5.1: senza resina



Figura 5.2: senza resina

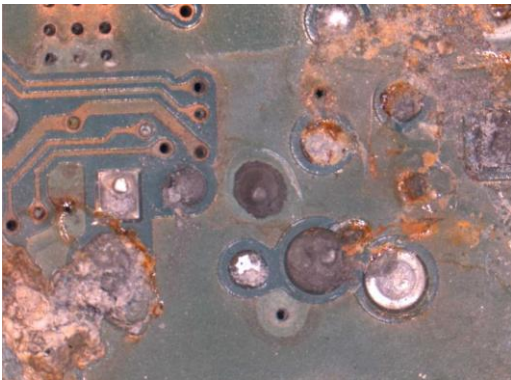


Figura 5.3: senza resina

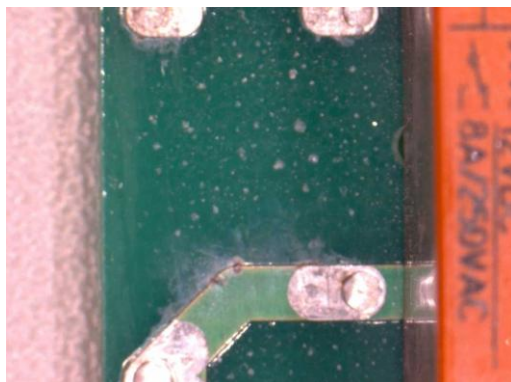


Figura 5.4: resina 1B73

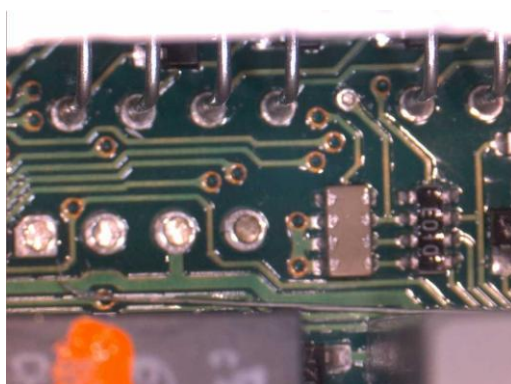


Figura 5.5: resina 1B73

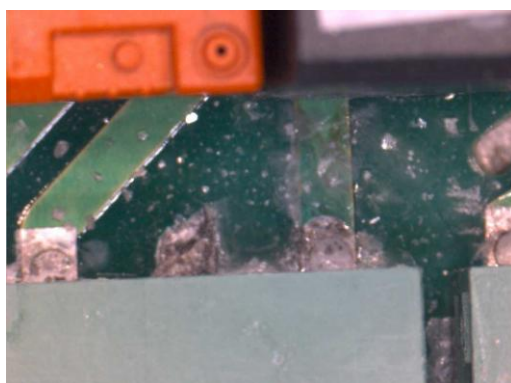


Figura 5.6: resina 1B73

Le tre figure qui sopra evidenziano che i danni provocati dalla nebbia salina si trovano dove non è depositato il coating, figure 5.4 e 5.6.

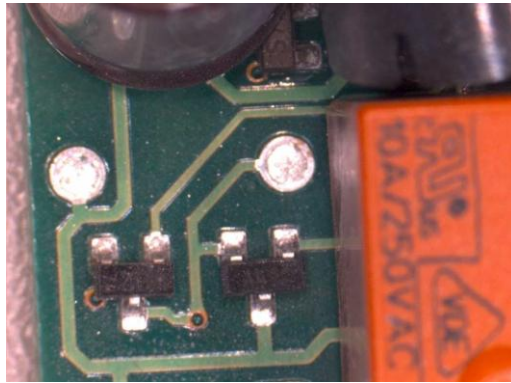


Figura 5.7

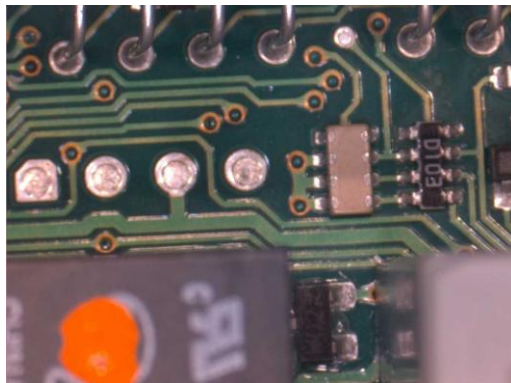


Figura 5.8

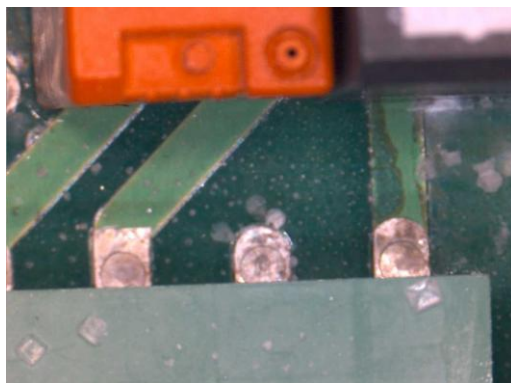


Figura 5.9

Le tre figure inerenti al coating ECG 1700 evidenziano come, a parte dei piccoli depositi di sale, tutta la superficie è protetta dagli agenti esterni.

5.3 Conclusioni

I campioni 3M hanno mostrato una maggior resistenza all'ambiente ostile della nebbia salina rispetto a tutti gli altri campioni. Ciò è evidenziato anche dalla colonna dei tempi in cui si è effettuato il test, si nota infatti, che i test sui campioni 3M sono stati effettuati sempre dopo gli altri campioni e questo comporta condizioni più gravose per gli stessi. Quindi è possibile affermare che potenzialmente è meglio rivestire al 100% la superficie di un prodotto tramite ECG 1700, che parzialmente con 1B73, nonostante le caratteristiche di quest'ultimo siano superiori. Unito a questo vantaggio, vi è la possibilità di automatizzare il deposito del conformal coating.

CAPITOLO 6

CONCLUSIONI

Sommario

6.1 Vantaggi.....	104
6.2 Svantaggi.....	105
6.3 Conclusioni	105

Introduzione

In questo capitolo conclusivo, si elencheranno i principali vantaggi/svantaggi che le proposte di miglioramento effettuate nel capitolo 4 comportano e gli svantaggi.

6.1 Vantaggi

I vantaggi derivanti dall'applicazione delle proposte di miglioramento comportano un risparmio di tempo sia inteso come tempo di produzione, infatti non essendo più previsto il burn-in, si risparmia il tempo necessario a farlo, e sia inteso come tempo di lavorazione da parte dell'utente. Infatti non dovendo più caricare/scaricare i carrelli per effettuare il burn-in ai semilavorati e trasportare questi prima alla camera del burn-in e poi alla linea successiva (freccie viola nella figura 6.1), si risparmia molto tempo. Inoltre togliere il burn-in permetterebbe di riunire in un'unica linea tutte le fasi successive all'assemblaggio PTH, che invece ora non lo sono proprio a causa dell'invecchiamento.



Figura 6.1: sintesi flusso produttivo

Per dare dei numeri a questi vantaggi, sono stati misurate approssimativamente tutte le fasi di processo, e si è rilevato che occorrono circa 600 secondi ad un operatore per ottenere un semilavorato completo. Togliendo i tempi dovuti al burn-in, cioè i tempi di scarico/carico, e i tempi di trasporto sempre riferiti al burn-in è possibile arrivare fino a circa 550 secondi, cioè quasi un minuto in meno, e questo comporta la riduzione dei costi di produzione.

È possibile fare un discorso analogo sul coating, in quanto il prodotto ECG 1700, permette una maggior automazione

del processo industriale, con conseguente riduzione di tempi e costi.

6.2 Svantaggi

In realtà tutti i possibili svantaggi possono essere raggruppati tutti assieme, e cioè : perdita di affidabilità. Infatti effettuando il burn-in solo a due dei centinaia di componenti che compongono i prodotti si “spera” che tutti gli altri funzionino bene. Questo è auspicabile dal fatto che i ritorni da campo non hanno evidenziato guasti con ripetizione maggiore rispetto agli altri, e dal fatto che, a parte i due componenti interessati dalle proposte, gli altri componenti si sono guastati in un numero irrisorio e al massimo uno per tipo.

Per quanto riguarda il coating, lo svantaggio dell'ECG 1700 è quello di non essere un conformal coating, e quindi per essere può essere usato solo per quei clienti che non richiedono il conformal coating ma solo una protezione della scheda.

6.3 Conclusioni

In questa tesi si è affrontato il problema industriale dell'affidabilità. Da un lato si spinge per poter fornire al cliente prodotti sempre più sicuri, innovativi e affidabili e dall'altro si tende a ridurre sempre più i costi. La filosofia Carel tende a seguire la prima delle due strade, puntando su prodotti innovativi e affidabili. Ciò non toglie che sia possibile, come nel lavoro svolto in questa tesi, valutare la possibilità di ridurre leggermente l'affidabilità a vantaggio di poter vendere i propri prodotti a prezzi più competitivi.

Bibliografia

James J. Licari, 2003, "Coating materials for electronic applications", ed. Noyes Publications, William Andrew Publishing

Milton Ohring, 1998, "Reliability and failure of electronic materials and device", ed. Academic Press

Paccagnella Alessandro, 2008, Appunti dalle lezioni del corso "Qualità e affidabilità in elettronica"

Narduzzi Claudio, 2008, Appunti dai corsi "Misure elettroniche" e "misure per l'automazione e produzione industriale"

Materiale interno Carel

Siti internet consultati

www.Wikipedia.com

www.ing.unitn.it

www.ing.unibo.it

Ringraziamenti

Ringrazio tutta l'azienda CAREL, che mi ha permesso di scrivere questa tesi, in particolar modo il mio tutor aziendale, Luigi, i miei compagni d' "isola", Silvia, Domenico e Valentino, i colleghi Cristina, Elisa, Fabio, Leonardo, Alberto, Emmanuele, Francesco, Marco, Mosè, Luigino, Jenny, Andrea, Paolo, Laura, ecc. Ringrazio il mio relatore, prof. Alessandro Paccagnella per la disponibilità dimostratami e la libertà concessami in questo lavoro.

Il mio più sentito ringraziamento va ai miei genitori, che mi hanno permesso di raggiungere questo obiettivo, ai miei zii, ai miei nonni e alla mia ragazza, Chiara, per tutta la pazienza e comprensione portata in questi anni.

Ringrazio inoltre i miei amici e compagni d'appartamento: Buz, Clay, Dario, Alessandra, Pippo, Luca, Max, Muzzi, Enrico, Actarus, Ricky, Giorg, Kevin, Zordan, Marco vecchio, Marco nuovo, Marco, Fabio, Davide, Matteo, Matteo cesarolo, Giacomo.

4 ottobre 2010

Enrico